

# futur

VISION | INNOVATION | REALISIERUNG

## SYSTEME INTEGRIEREN

### Elf Maschinen, ein Ziel

Die Akteure eines Produktionssystems müssen perfekt aufeinander eingespielt sein – ähnlich wie die Spieler einer Fußballmannschaft. Das Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION forscht deshalb an empathischen technischen Systemen.

S. 14

### Digitalisierung ist Befähiger, nicht Selbstzweck

Wie die Produktion von morgen aussieht und wie wir dorthin gelangen, erläutert Dr. Milan Nedeljković, Produktionsvorstand der BMW AG, im Interview mit FUTUR.

S. 18

### Die Datendirigenten

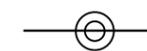
Technisch herausfordernd, strategisch unerlässlich: Um komplexe Entwicklungs- und Produktionsprozesse zu orchestrieren, müssen Unternehmen verschiedene IT-Systeme und ihre Daten integrieren.

S. 30

Schema F – das F steht für  
Flexibel



**In einer komplexer werdenden Welt  
sind Orientierung und Identifikation  
wichtiger denn je.**



## Produktionstechnisches Zentrum (PTZ) Berlin

**KURZPROFIL** Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) Berlin beherbergt zwei Forschungseinrichtungen: das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin und das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK. Als produktionstechnische Forschungs- und Entwicklungspartner mit ausgeprägter IT-Kompetenz sind beide Institute international gefragt. Ihre enge Kooperation im PTZ versetzt sie in die einzigartige Lage, die gesamte wissenschaftliche Innovationskette von der Grundlagenforschung über anwendungsorientierte Expertise bis hin zur Einsatzreife abdecken zu können.

Dabei unterstützen wir Unternehmen umfassend entlang der gesamten Wertschöpfung: In enger Zusammenarbeit mit Industriekunden und öffentlichen Auftraggebern entwickeln wir Systemlösungen, Einzeltechnologien und Dienstleistungen für die gesamte Prozesskette produzierender Unternehmen – von der Produktentwicklung, von der Planung und Steuerung der Maschinen und Anlagen, inklusive der Technologien für die Teilefertigung bis hin zur umfassenden Automatisierung und dem Management von Fabrikbetrieben. Zudem übertragen wir produktionstechnische Lösungen in Anwendungsgebiete außerhalb der Industrie, etwa in die Bereiche Verkehr und Sicherheit.



**LIEBE LESERINNEN,  
LIEBE LESER,**

Integration kommt von »integer«. Der lateinische Begriff, der sich wörtlich als »unberührt« übersetzen lässt, hat heute eine leicht andere Bedeutung. Denn unberührt sind die Systeme unserer Industriepartner keinesfalls – im Gegenteil, täglich gilt es im Produktionskontext zahlreiche Einflussfaktoren zu navigieren und zu moderieren. Gerade deshalb kommt es auf eine weitere Wortableitung derselben lateinischen Wurzel an, nämlich die »Integrität« aller laufenden realen und digitalen Prozesse und Systeme.

Die digital integrierte Produktion entlang der gesamten Prozesskette ist das Spezialgebiet des Fraunhofer IPK und der rote Faden, der sich durch die Forschung und Entwicklung am PTZ Berlin zieht. Ich freue mich deshalb besonders, dass die Systemintegration das Schwerpunktthema dieser FUTUR-Ausgabe ist. Unsere Forschenden geben Ihnen in den Artikeln tiefer gehende Einblicke in die Methoden und Lösungen, die sie gemeinsam mit ihren Partnern erarbeiten, um deren Systeme einzubinden und somit ihre Innovationsfähigkeit auszubauen oder ihre Marktführerschaft zu erhalten.

Einer dieser Partner ist die BMW AG, deren Produktionsvorstand Dr. Milan Nedeljković im Interview mit FUTUR unter anderem auf die einheitliche Daten- und Netzwerkstrategie der über 30 Produktionsstandorte des Automobilbauers eingeht. Strategie ist auch ein wichtiges Stichwort für unsere Forschenden: Im Kompetenzzentrum Innovationssysteme und -strukturen erarbeiten sie auf allen Ebenen gelungene Innovationsstrategien gemeinsam mit ihren Partnern, von KMU bis hin zu ganzen internationalen Netzwerken.

Der Netzwerkgedanke steht auch bei einer Fotostrecke im Zentrum und das gleich doppelt. Am Beispiel der Brennstoffzellenproduktion zeigen wir, wie eine flexible Prozesskette in der Fertigung der Zukunft aussehen könnte. Dabei sind nicht nur die einzelnen Akteure im Unternehmen und auf dem Shopfloor miteinander vernetzt, sondern die gezeigten Demonstratoren sind auch das Ergebnis unseres ganz eigenen Integrationsprojekts, des Leistungszentrums Digitale Vernetzung von vier Berliner Fraunhofer-Instituten.

Dass Systemintegration nicht nur ein Industriethema ist, sondern auch ein politisches, zeigt unser Expertengespräch zwischen Experten des Fraunhofer IPK und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Thema ist unter anderem, wie sichere Datenräume geschaffen werden können. Ein konkretes Beispiel für die Umsetzung solcher Datenräume geben wir weiter hinten im Heft, wo zwei Fraunhofer IPK-Abteilungsleiterinnen beschreiben, wie die im EU-Projekt Gaia-X entstandenen föderierten Datenräume die Grundlage für zukünftige Produkt-Service-Systeme schaffen und damit zum Beispiel helfen könnten, Brände mithilfe von Drohnen besser zu bekämpfen.

Eine informative Lektüre wünscht

Ihr

**Eckart Uhlmann**

# Inhalt

## 08 Shortcuts

**10 Systeme integrieren**  
Systemintegration ist für produzierende Unternehmen der Schlüssel, um in Hochlohnländern wettbewerbsfähig zu bleiben oder ihre Marktführerschaft zu verteidigen – doch wie kann sie gelingen?

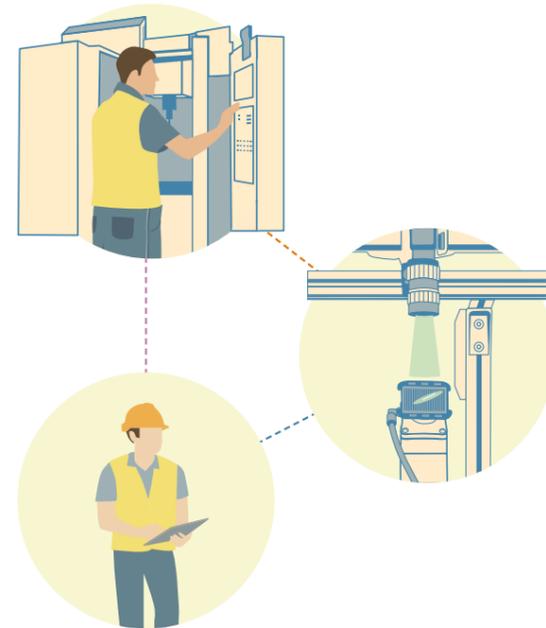
**14 Elf Maschinen, ein Ziel**  
Die Akteure eines Produktionssystems müssen perfekt aufeinander eingespielt sein – ähnlich wie die Spieler einer Fußballmannschaft. Das Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION forscht deshalb an empathischen technischen Systemen.

Schon in der Massenproduktion im Einsatz: die modulare Fabrik  
↪ Mehr dazu ab Seite 22



**Die synergetische Kooperation zwischen Mensch-Maschine und Maschine-Maschine zeigt, wie die Integration empathischer Systeme in Produktionsumgebungen auch menschliche Expertise optimal nutzt.**

↪ Mehr dazu ab Seite 14



## 18 Digitalisierung ist Befähiger, nicht Selbstzweck

Cobots in der Montage, digitale Produktzwillinge zur Emissionsreduzierung – wie die Produktion von morgen aussieht und wie wir dorthin gelangen, erläutert Dr. Milan Nedeljković, Produktionsvorstand der BMW AG, im Interview mit FUTUR.

**22 Mit Modellen zur modularen Montage**  
Ganzheitlich und gemeinsam Produktionsinnovationen entwickeln geht nicht? Doch: mit einem integrierenden Modell.

## 24 Innovation auf allen Ebenen

Vom kleinsten Start-up bis hin zu ganzen Nationen – wer in den schnelllebigen globalisierten Marktstrukturen von heute überleben will, braucht eine gut durchdachte, belastbare Innovationsstrategie.

## 26 Der X-Factor

Von Gaia-X bis Manufacturing-X – digitale Ökosysteme sollen einen effektiven und sicheren Datenaustausch in der Industrie ermöglichen. Welchen Nutzen Unternehmen davon haben, erläutert Ernst Stöckl-Pukall, Leiter des Referats »Digitalisierung, Industrie 4.0« im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie die Fraunhofer IPK-Experten Prof. Dr. Holger Kohl und Dr. Kai Lindow im Gespräch mit FUTUR.

**»Wir müssen den Unternehmen vermitteln, dass sie in ihre Zukunft investieren, wenn sie Funktionalität über Datenräume aufbauen. Damit wird ihnen später besser gelingen, was sie heute noch nicht können.«**

↪ Mehr dazu ab Seite 26



In flexiblen Produktionsketten kollaborieren Menschen und Maschinen nahtlos integriert  
↪ Mehr dazu ab Seite 32

## 30 Die Datendirigenten

Technisch herausfordernd, strategisch unerlässlich: Um komplexe Entwicklungs- und Produktionsprozesse zu orchestrieren, müssen Unternehmen verschiedene IT-Systeme und ihre Daten integrieren.

## 32 Schema F – das F steht für Flexibel

Steigende Variantenvielfalt und Bauteilkomplexität, immer individuellere Produkte und sinkende Losgrößen beschäftigen die Industrie. Um mitzuhalten, müssen Unternehmen ihre Fertigung flexibel anpassen. Grundlage für eine solche Flexibilisierung ist, dass alle Einzelsysteme im Produktionsprozess miteinander sprechen – das gelingt nur, wenn sie digital vernetzt sind, wie unsere Fotostrecke demonstriert.

## 38 Konsistente Daten – bessere Prozesse

In heutigen Produktionssystemen sind selbst kleine Änderungen oft zeitaufwendig, kostenintensiv und fehleranfällig. Nicht so, wenn Entwicklung, Planung, Inbetriebnahme und Produktion integriert und gemeinsam verstanden werden.

## 40 Identitätsstiftende Arbeit

Personalausweis, Reisepass oder Führerschein – mindestens eines dieser Dokumente tragen Erwachsene in Deutschland täglich bei sich. Wie sie hergestellt werden, erklärt Dr. Florian Heitmüller von der Bundesdruckerei GmbH in seinem FUTUR-Gastbeitrag.

## 42 Dezentralisiert und doch integriert

Produkte und Dienstleistungen: eine komplizierte Liebesgeschichte. Braucht ihre Beziehung dezentralisierte Datenräume zum Wachsen?

## 46 Zukunftsraum für die Mobilitätswende

Das Reallabor ReTraNetz-BB unterstützt die Transformation der Fahrzeug- und Zulieferindustrie in der Region. Hier werden Prozessketten erprobt und Technologien in reale Szenarien überführt.



## 48 PTK 2025

## 49 Mehr Können

## 50 Impressum

## GUT GESAGT



»Nach vorne blickend werden die Fähigkeiten der Künstlichen Intelligenz zunehmend an Bedeutung gewinnen. Über sie lassen sich auch Steuerungs- und Planungsprozesse digital abbilden. Dennoch ist und bleibt der Mensch in allen Feldern unerlässlich. Bei ihm bleibt die konzeptionelle Stärke und final die Entscheidungshoheit.«

**Dr. Milan Nedeljković, Mitglied des Vorstands der BMW AG, Produktion**

↳ Mehr dazu ab Seite 18

### »FORSCHERINNEN IM FOKUS« – NEUES BUCH BIETET EINBLICKE IN DIE WISSENSCHAFTSWELT

Junge Frauen mit nahbaren Role Models für eine Laufbahn in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft oder Technik begeistern und nebenbei den Blick auf Themen lenken, die die Forschungswelt aktuell intensiv beschäftigen: All das möchte das neue Buch »Forscherinnen im Fokus – Wir schaffen Veränderung«. Die Publikation präsentiert auf 200 Seiten 42 erfolgreiche Wissenschaftlerinnen aus der Fraunhofer-Gesellschaft. Mitten drin: Josefine Lemke aus dem Fraunhofer IPK in Berlin. Die Wissenschaftlerin forscht zur Simulation von Schweißprozessen mithilfe von Digitalen Zwillingen. Sie erzählt, warum sie ihre Arbeit in diesem Bereich liebt, wie es nach ihrer Promotion weitergehen könnte und was Digitale Zwillinge mit Klimaschutz zu tun haben.



↳ Weitere Informationen unter [www.ipk.fraunhofer.de/forscherinnen-im-fokus](http://www.ipk.fraunhofer.de/forscherinnen-im-fokus)



© Fraunhofer ITWM

## HUMANZENTRIERT, RESSOURCENSCHONEND, RESILIENT



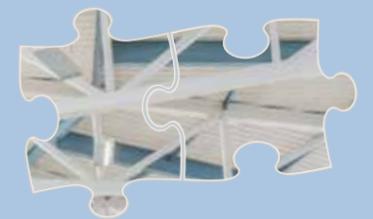
In unserer neuen Publikation »Lösungen aus Forschung und Entwicklung 2024/25« geben wir Einblicke in die Arbeit unserer Forschenden.

Das Urteil der Industrie ist einstimmig: Die Fertigung der Zukunft ist datenbasiert, doch auf dem Weg dorthin ist noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. Wir laden Sie ein, uns bei dieser Entwicklungsarbeit über die Schulter zu schauen. Wir stellen Ihnen FuE-Projekte und Lösungen vor, mit denen wir Antworten auf die drängenden Fragen der Industrie geben. Wir zeigen Ihnen, wie unsere Forschenden digitale, vernetzte Technologien in die industrielle Anwendung überführen, wie sie große Datenmengen mithilfe von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz kuratieren und wie sie Anwendungen entwickeln, die auf dieser Basis aufsetzen.



↳ Lesen Sie hier, wie wir Produktion wandlungsfähig machen:  
[www.ipk.fraunhofer.de/industrietrends](http://www.ipk.fraunhofer.de/industrietrends)

## IM DETAIL



Was wir hier zusammenpuzzeln sehen Sie in unserem Leitartikel

↳ ab Seite 10.

# Systeme integrieren

Systemintegration ist für produzierende Unternehmen der Schlüssel, um in Hochlohnländern wettbewerbsfähig zu bleiben oder ihre Marktführerschaft zu verteidigen – doch wie kann sie gelingen?

Wo die klassische Systemintegration nicht mehr ausreicht, gilt es diese zur »evolutionären Systemintegration« weiterzuentwickeln. So kommen Industrieunternehmen aufgrund der komplexen Produktionszusammenhänge von heute nicht daran vorbei, alle entlang der Prozesskette beteiligten Systeme integrativ zu vernetzen. Es genügt bei Weitem nicht, dass die Akteure Mensch, Maschine und Informationstechnik miteinander kommunizieren. Denn es werden längst nicht mehr nur zentral geplante Abläufe in der Wertschöpfungskette ausgeführt, sondern auch situationsbedingt dezentrale Entscheidungen getroffen – und zwar zwischen rein technischen Systemen aber auch zwischen Menschen und Maschinen. Dazu müssen Produktionstechniken und -technologien mit Informationstechnik und -infrastruktur auf ganz neue Arten miteinander verbunden werden.

»Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.«

Aristoteles

## VOM FLIESSBAND ZUM IIOT

Die Entwicklung der Systemintegration in der Industrie ist eng mit technologischen Fortschritten und sich wandelnden Produktionsparadigmen verknüpft. Die Systemintegration ging dabei von einer mechanischen, starr verketteten Organisation der Produktionsprozesse zu einer zunehmend vernetzten und automatisierten Struktur über.

In der zweiten industriellen Revolution, geprägt durch Taylor und Ford, wurde die Arbeitsteilung systematisch in Produktionslinien umgesetzt. Diese Phase der Systemintegration war primär mechanischer Natur: Maschinen und Arbeitsstationen wurden starr miteinander verknüpft, um eine hohe Effizienz in standardisierten Produktionsprozessen zu erreichen. Mit der dritten industriellen Revolution, als Informationstechnologie und Automatisierung in den

1970er Jahren weiter Einzug hielten, veränderte sich das Bild der Systemintegration. Die damalige Vision der Computer Integrated Manufacturing (CIM) bedeutete einen großen Fortschritt: Erstmals sollten verschiedene Systeme innerhalb eines Unternehmens miteinander kommunizieren, wodurch die Planung, Steuerung und Durchführung von Produktionsprozessen erheblich verbessert werden sollten. Dennoch blieb auch hier die Flexibilität begrenzt, da die Systemintegration auf festgelegten, oft starren Strukturen basierte.

In der heutigen Ära der Industrie 4.0 treiben Cyber-Physische Systeme (CPS), das Industrial Internet of Things (IIoT) und Künstliche Intelligenz (KI) die Integration voran, indem sie tiefgreifende Verbindungen von physischen und digitalen Systemen ermöglichen. Diese Technologien streben

nach einer völlig flexiblen, selbstorganisierenden Produktion, bei der Maschinen, Produkte und IT-Systeme in Echtzeit miteinander kommunizieren und sich dynamisch an wechselnde Bedingungen anpassen können.

Noch ist die mechanische und digitale Integration aber häufig in ihrer Flexibilität begrenzt und beschränkt sich, wenn überhaupt, auf einzelne Ökosysteme. Viele Produktionssysteme sind nach wie vor starr strukturiert, was es erschwert, mit agilen Produktionsprozessen auf Veränderungen im Markt oder in der Nachfrage zu reagieren. Nur durch eine wirklich flexible, vernetzte und adaptive Systemintegration können Unternehmen wettbewerbsfähig bleiben. Das erfordert nicht nur technologische Innovationen, sondern auch ein Umdenken in der Gestaltung von Produktionssystemen.

## KONSEQUENTE EVOLUTION STATT VISIONÄRER REVOLUTION

Die Zukunft der Produktionstechnik wird durch ein neues Verständnis von Systemintegration geprägt sein. Diese Form der Systemintegration wird sämtliche Aspekte der Produktion, von der Planung über die Ausführung bis hin zur Logistik, integrativ und intelligent miteinander verknüpfen. Die Vision basiert auf der vollständigen Verschmelzung von physischen und digitalen Systemen. So entstehen nahtlose, effiziente und anpassungsfähige Wertschöpfungsketten über Unternehmensgrenzen hinaus.

Die ganzheitliche Systemintegration in der Produktionstechnik wird die Art und Weise, wie produziert wird, evolutionär auf eine neue Stufe heben, vergleichbar mit dem Übergang zu Industrie 4.0. Im Kontext der Systemintegration bedeutet »evolutionär«, dass sich die Integration von Systemen schrittweise und kontinuierlich weiterentwickelt, anstelle von abruptem Wandel oder vollständigem Austausch von Technologien und Prozessen. Evolutionäre Systemintegration zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, bestehende Systeme flexibel zu erweitern und zu verbessern, um auf neue Anforderungen oder technologische Fortschritte zu reagieren, ohne die gesamte Infrastruktur zu destabilisieren. Die sich so verändernden Systeme sind nachhaltig anpassungsfähiger und langfristig innovativer. Durch die nahtlose Integration von physischen und digitalen Systemen, den Einsatz von KI und maschinellem Lernen sowie die Fokussierung auf Nachhaltigkeit und effiziente Mensch-Maschine-Interaktionen wird eine Produktionsumgebung geschaffen, die hochgradig flexibel, effizient und ressourcenschonend ist.





### DIE ROLLE DES MENSCHEN

Der Mensch wird weiterhin eine zentrale Rolle bei der Systemintegration spielen, insbesondere in Zeiten des demografischen Wandels und des Fachkräftemangels. Während Maschinen und computerunterstützte Systeme zunehmend autonom agieren, ist der Mensch nach wie vor unerlässlich für die Gestaltung, Überwachung und kontinuierliche Anpassung dieser Systeme. Menschen sind in der Lage, komplexe Produktionsprozesse zu durchdringen und Systeme so zu integrieren, dass sie flexibel und anpassungsfähig bleiben. Diese menschliche Intelligenz ist entscheidend, um Daten sinnvoll zu interpretieren, strategische Entscheidungen zu treffen und unvorhergesehene Probleme zu lösen. Gerade in einer Zeit, in der Maschinen immer mehr Aufgaben übernehmen, ist es entscheidend, dass Menschen die Integration dieser Systeme verantwortungsvoll steuern, sodass technologische Fortschritte auch im Einklang mit sozialen Werten stehen.

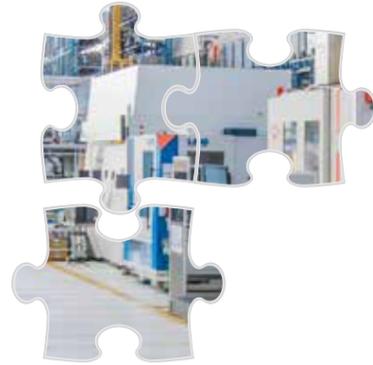
Unter diesem Gesichtspunkt stellt der demografische Wandel eine wachsende Herausforderung dar: Mit einer alternden Belegschaft und einem Rückgang der verfügbaren Fachkräfte wird es schwieriger, qualifizierte Mitarbeitende zu finden, die in der Lage sind, hochkomplexe Prozesse zu verwalten und zu steuern. Diese Entwicklung verstärkt den Druck, Systeme so zu gestalten, dass sie auch mit geringer qualifiziertem Personal effizient betrieben werden können, unterstützt durch digitale Assistenzsysteme und Künstliche Intelligenz.

### SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN UND -KONZEPTE

**Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen** werden eine Schlüsselrolle in der evolutionären Systemintegration spielen.

Diese Technologien ermöglichen es, aus den entlang der Wertschöpfungskette erfassten Datenmengen wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen, die zu einer kontinuierlichen Optimierung beitragen können. KI-gesteuerte Algorithmen werden in der Lage sein, die laufende Produktion nicht nur zu überwachen, sondern auch proaktiv Anpassungen vorzuschlagen, die zu effizienteren Abläufen bei gleichzeitig besserer Qualität führen. So entsteht eine adaptive Produktion, die dynamisch auf Veränderungen in der Nachfrage oder unerwartete Störungen reagiert.

Die evolutionäre Systemintegration wird von den Prinzipien der Nachhaltigkeit geprägt sein. Die digitale und mechanische Integration entlang der Wertschöpfungskette muss so gestaltet sein, dass eine ressourcenschonende, abfallminimierende Produktion möglich wird. Dabei werden



**Kreislaufwirtschaftskonzepte** sicherstellen, dass Materialien und Energie in geschlossenen Kreisläufen geführt werden, wodurch Rohmaterialien effizienter einsetzbar sind. Die Umwelt wird weniger belastet, einerseits durch die sparsamere Nutzung von Ressourcen, andererseits durch die Vermeidung von Abfällen.

**Digitale Zwillinge**, virtuelle Abbilder physischer Objekte und Prozesse, stellen die Basis dar, um den gesamten Lebenszyklus von Produkten anhand von realen Daten zu überwachen und zu optimieren. Für eine nahtlose Integration aller an der Wertschöpfung beteiligter Ökosysteme müssen Standards geschaffen werden, die von allen Stakeholdern verbindlich eingesetzt werden. Konkurrenzdenken und das bewusste Abstecken von Systemgrenzen müssen vom Streben nach dem gemeinsamen Erreichen höherer, nicht mehr rein ökonomischer

**In einer Zeit, in der Maschinen immer mehr Aufgaben übernehmen, ist es entscheidend, dass Menschen die Integration dieser Systeme verantwortungsvoll steuern, sodass technologische Fortschritte auch im Einklang mit sozialen Werten stehen.**

Ziele abgelöst werden. Aktuelle Ansätze wie die Bemühungen eines internationalen Standards für Digitale Zwillinge durch die International Digital Twin Foundation (IDTA), die Verwaltungsschale sowie Gaia-X sind begrüßenswert, können aber nur erfolgreich sein, wenn sie durchgängig und allumfassend von der Produktionsindustrie unterstützt werden.

### EMPATHISCHE TECHNISCHE SYSTEME

Im Fraunhofer Leitprojekt EMOTION entwickeln sieben Fraunhofer-Institute unter der Leitung des Fraunhofer IPK innovative Ansätze für empathische technische Systeme – eine neue Stufe der Kognition technischer Systeme. Diese Systeme sind darauf ausgelegt, miteinander zu kommunizieren, voneinander zu lernen und sich flexibel an neue Herausforderungen anzupassen. Das Besondere daran ist die Übertragung des Begriffs der Empathie auf technische

Zusammenhänge. Dabei geht es nicht um »echte Gefühle«, sondern vielmehr um Systeme, die den Zustand ihrer Umgebung und anderer Maschinen erfassen und darauf reagieren können, als hätten sie ein feines Gespür für die optimale Zusammenarbeit. Voraussetzung für eine effiziente Zusammenarbeit ist, dass die Systeme ein »wechselseitiges Verständnis« füreinander besitzen. Das bedeutet, dass sie nicht nur ihren eigenen Zustand erfassen können, sondern darüber hinaus auch den Zustand und die Intention der anderen Systeme. Für diese Fähigkeit, ein solch wechselseitiges Verständnis aufzubauen, steht repräsentativ der Begriff »Empathie«.

Die Zusammenarbeit zwischen heterogenen Systemen erfordert aus technologischer Sicht ein hohes Maß an digitaler Vernetzung und eine neue Qualität der Intelligenz technischer Systeme. Ein besonders heraus-

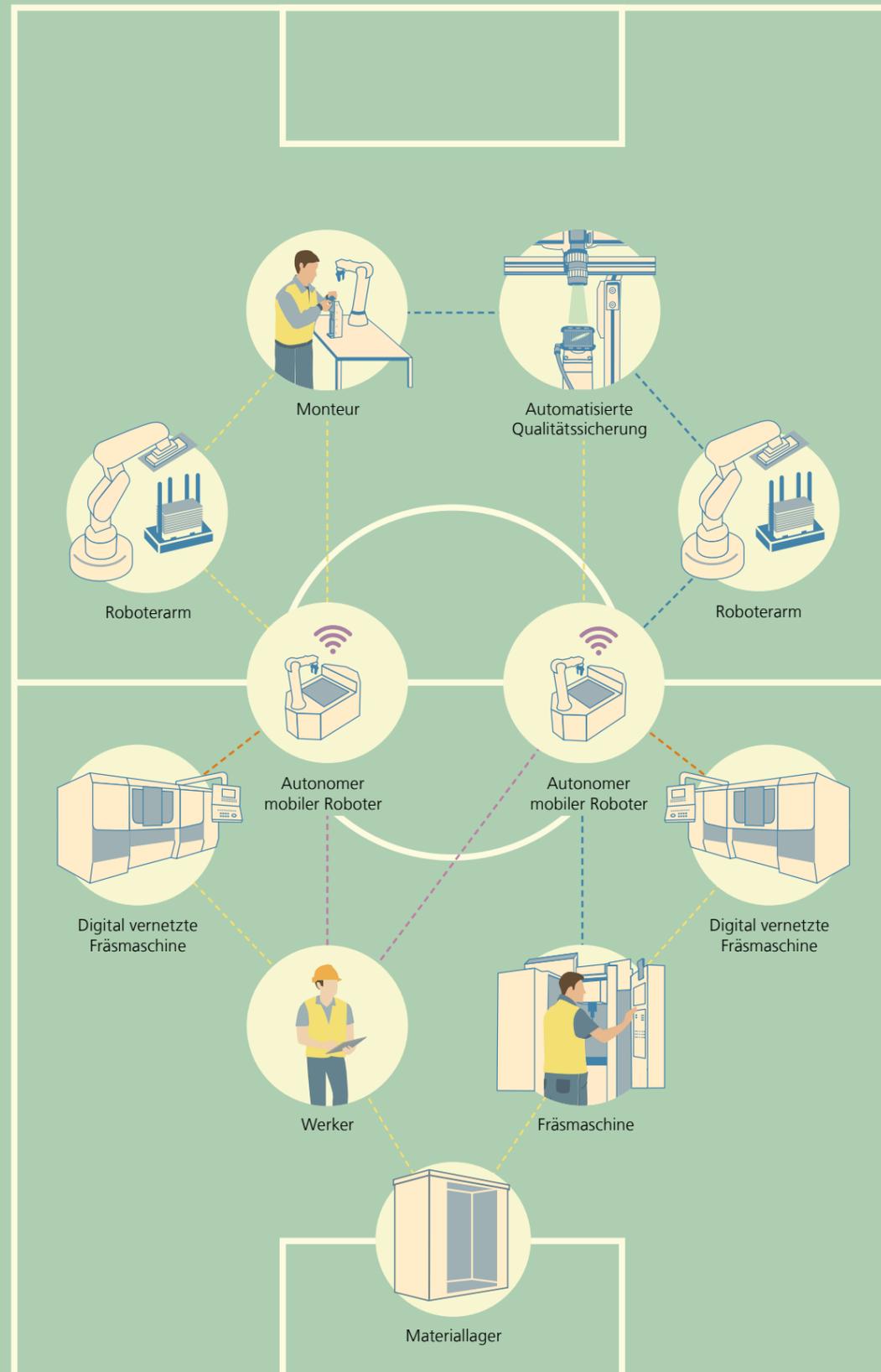
ragender Aspekt von EMOTION ist deshalb die kommunikationstechnische Überwindung von Systemgrenzen. In modernen Produktionsumgebungen agieren verschiedene Systeme oft isoliert voneinander, um ihre jeweils vorgegebenen eigenen Ziele zu erreichen. Dieses »Nebeneinanderher« führt zu Ineffizienz und Informationsverlust. Die Forschenden im Projekt EMOTION überwinden die bisherigen Systemgrenzen, indem sie eine übergreifende Kommunikationsinfrastruktur entwickeln und implementieren, und das unter Beachtung von Datenschutz und -sicherheit. So ermöglichen sie eine nahtlose Interaktion zwischen unterschiedlichen Systemen und schaffen die Basis für eine wirklich integrative, empathische Produktion.

EMOTION ist weit mehr als nur ein theoretisches Konzept – es wird schon jetzt in der Praxis erprobt, und zwar in so verschiedenen Anwendungsbereichen wie Assistenzsystemen, Instandhaltung oder Produktionsplanung und -steuerung. Dabei geht es nicht nur um die technische Machbarkeit, sondern auch darum, den tatsächlichen Mehrwert dieser empathischen Systeme für die Industrie greifbar zu machen. EMOTION zeigt auf, wie die Produktion der Zukunft aussehen könnte: Maschinen, die nicht nur funktionieren, sondern aktiv zur Optimierung der gesamten Produktionskette beitragen. Durch die intelligente Integration von empathischen Systemen und die Überwindung von Systemgrenzen entsteht eine Produktionsumgebung, die sich kontinuierlich weiterentwickelt – ganz im Sinne einer evolutionären Systemintegration. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann**  
+49 30 39006-100  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de





# Elf Maschinen, ein Ziel

Die Akteure eines Produktionssystems müssen perfekt aufeinander eingespielt sein – ähnlich wie die Spieler einer Fußballmannschaft. Das Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION forscht deshalb an empathischen technischen Systemen.

83. Minute, es steht 1:1 – die entscheidende Schlussphase. In den letzten Minuten eines Fußballspiels sind Reaktionsvermögen und Flexibilität entscheidend für den Erfolg. Die Heimmannschaft greift noch einmal an. Dabei muss auch der ein oder andere riskante Spielzug in Kauf genommen werden. Nach einigen Pässen landet der Ball schließlich beim Stürmer, er muss nur noch den gegnerischen Torwart überwinden – und dann liegt der Ball im Netz. Während das Team auf dem Platz feiert, jubeln der Trainer auf der Bank und die Geschäftsführung des Vereins auf der Tribüne mit.

Genauso wie auf dem Fußballplatz müssen auch in einem komplexen, sich teilweise schnell wandelnden Produktionsumfeld – mit Maschinen und arbeitenden Menschen, aber auch verschiedenen Abteilungen und Geschäftsfeldern – alle Akteure eng zusammenarbeiten. Durch effektive Kommunikation zwischen den Akteuren kann die Produktivität auf höchstem Niveau und die kontinuierliche Fertigung am Laufen gehalten werden, damit hochwertige Endprodukte entstehen. Trotz des gemeinsamen strate-

gischen Ziels können die Beteiligten situationsbedingt unterschiedliche Prioritäten haben: Die Produktion strebt beispielsweise nach maximaler Effizienz und Auslastung, während die Instandhaltung darauf bedacht ist, die Maschinen durch regelmäßige Wartung und Inspektionen in einem optimalen Zustand zu halten.

Der Gesamterfolg hängt damit nicht nur von der Leistung oder dem Zustand der einzelnen Akteure ab, sondern vor allem von ihrer nahtlosen Zusammenarbeit. Genau wie beim Fußball, wo es auf Aufstellung, taktische Ausrichtung, einstudierte Abläufe, aber auch das Reaktionsvermögen auf immer neue Spielsituationen ankommt, müssen alle Beteiligten, von der Produktentwicklung bis zur Logistik, aufmerksam und transparent miteinander kommunizieren. Nur so können potenzielle Störungen oder Schwachstellen frühzeitig erkannt und behoben werden.

Auch die Fitness der einzelnen Spieler oder Spielerinnen und das Equipment muss im Fußball stimmen, damit über eine ganze



Geschäftsführung



Instandhaltung



Produktionsplanung

Saison hohe Leistung erbracht und schließlich ein guter Tabellenplatz erreicht werden kann. Auch Auswechslungen und das Schonen besonders wichtiger Teammitglieder gehören im Profisport dazu. Übertragen auf den Produktionskontext sind regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen an Maschinen und Anlagen unerlässlich. Doch genau hier entsteht ein klassischer Zielkonflikt zwischen einer unterbrechungsfreien Produktion und notwendiger Instandhaltung.

Dieser Konflikt ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern kann auch über den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens entscheiden: minimale Ausfallzeiten, gleichzeitig die Gefahr von größeren Schäden und Produktionsausfällen durch unzureichende Wartung – ein Balanceakt mit erheblichen wirtschaftlichen Konsequenzen.

Verzögerte Wartungen führen oft zu ungeplanten Stillständen, die Kosten in die Höhe treiben und Liefertermine gefährden. Gleichzeitig kann eine ungeschickte Wartungsplanung die Effizienz der Produktion beeinträchtigen.

#### INSPIRIERT DURCH DEN MENSCHEN

Zur Lösung dieses Zielkonflikts ist im Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION das entscheidende Stichwort Empathie. Was als grundlegendes psychologisches Konzept den Zusammenhalt von menschlichen Gemeinschaften stärkt und Kollaboration fördert, verhilft im besten Fall der Fußballmannschaft zum Sieg – und kann im Umfeld komplexer Produktionssysteme die Kooperation zwischen Maschinen und mit dem Menschen effizienter, effektiver und robuster machen.

Forschende am Fraunhofer IPK entwickeln hierzu das Konzept eines empathischen technischen Systems. So könnte beispielsweise ein mobiler Roboter die Ziele und Steuergrößen anderer Roboter verstehen und proaktiv unterstützen, indem er seine eigene Rolle flexibel anpasst. Oder eine Werkzeugmaschine erkennt die Dringlichkeit von Produktionsaufträgen und passt ihre Arbeitsabläufe autonom an, um diese effizient zu erfüllen. Solche Systeme ermöglichen es Maschinen, miteinander zu kommunizieren, sich gegenseitig zu unterstützen und dynamisch auf Herausforderungen zu reagieren.

#### WAS HEISST EIGENTLICH EMPATHIE?

EMOTION unterscheidet drei zentrale Formen der Empathie, die das Verhalten eines Menschen im Umgang mit anderen prägen: Kognitive Empathie beschreibt die Fähigkeit, die Gedanken und Perspektiven eines anderen zu verstehen, sich in die Lage eines anderen hineinzuversetzen und zu erkennen, was dieser möglicherweise denkt oder benötigt. Affektive Empathie geht einen Schritt weiter und bezieht sich auf das Erkennen und Miterleben der emotionalen Zustände anderer. Mitfühlende Empathie schließlich führt die gewonnenen Erkenntnisse zu einer proaktiven Handlung zusammen, um auf das Verständnis und die Wahrnehmung anderer zu reagieren und Unterstützung anzubieten.

Diese Differenzierung der Empathiearten bildet die Grundlage, um Anforderungen an empathische technische Systeme zu definieren und sie dazu zu befähigen, ähnlich wie Menschen in sozialen Interaktionen zu agieren – mit dem Ziel, Zielkonflikte in der Produktion frühzeitig zu erkennen und effizient zu lösen.

Ziel von EMOTION ist es dabei, alle Akteure eines Produktionssystems auf die Stufe der mitfühlenden Empathie zu heben. Das hieße etwa, dass Maschinen nicht nur in der Lage sind, die Ziele und Prioritäten anderer Maschinen oder Systeme kognitiv zu erfassen.

Empathische technische Systeme sollen in der Vision von EMOTION auch mehr leisten, als die »Stimmung« oder den Zustand anderer Systeme nur affektiv zu erkennen – etwa, wenn eine Maschine durch intensive Nutzung »gestresst« ist und daraufhin ihre Leistung gedrosselt wird, um Überlastungen zu vermeiden. Wenn Maschinen in Zukunft auch mitfühlend empathisch agieren, können sie erkennen, dass eine andere Maschine bald ausfällt, zur Entlastung proaktiv Aufgaben übernehmen oder den Wartungsprozess initiieren, um einen Produktionsstillstand zu verhindern.

#### EMPATHISCHE KOOPERATION IN DER PRAXIS

Wie die Integration von empathischen Systemen in der Praxis funktioniert, zeigt ein Beispiel aus der Produktion: Zwei Werkzeugmaschinen arbeiten parallel an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen. Eine dieser Maschinen bemerkt durch ihre integrierten Sensoren und Analysemethoden einen zunehmenden Werkzeugverschleiß. Dieser drohende Verschleiß erfordert baldige Wartungsmaßnahmen, doch die Herausforderung besteht darin, diese Wartung so zu planen, dass der laufende Produktionsprozess nicht unterbrochen wird.

In diesem Szenario tritt zunächst die Maschine-Maschine-Interaktion in den Vordergrund. Die »mitfühlende« Maschine in einwandfreiem Zustand erfragt mithilfe ihrer Software den Zustand ihrer verschleißgefährdeten Nachbaranlage. Gemeinsam analysieren sie die Situation: Die funktionierende Maschine bewertet die Dringlichkeit der noch ausstehenden Aufträge und ermittelt mit der anderen Maschine, welche Aufträge sicher abgeschlossen werden können und welche Aufgaben umverteilt werden müssen, um die Wartung effizient zu ermöglichen. Hierbei handelt es sich nicht um einen einfachen Datenaustausch, sondern um eine tiefere Form der Kommunikation, bei der die Maschinen kontextbezogene Entscheidungen treffen und sich gegenseitig in ihren Funktionen unterstützen.

Doch diese autonomen Entscheidungen der Maschinen unter sich sind nur der erste Schritt. Der Mensch, in diesem Fall eine erfahrene Instandhaltungsfachkraft, wird in den Prozess eingebunden, sobald die Maschinen ihre Analysen abgeschlossen haben. Die Maschinen übermitteln ihre Entscheidungsvorschläge an die Fachkraft, die nun ihre Prozessexpertise einbringen kann. Sie überprüft die von den Maschinen vorgeschlagenen Maßnahmen, berücksichtigt dabei die Gesamtproduktion und mögliche Risiken und passt die Wartungsplanung gegebenenfalls an. Durch diese Mensch-Maschine-Interaktion werden die maschinellen Vorschläge verifiziert und mit der menschlichen Erfahrung und dem Wissen über den gesamten Produktionsprozess ergänzt.

Menschen spielen dabei eine zentrale Rolle, auch wenn Maschinen immer intelligenter und integrierter zusammenarbeiten: Nicht nur muss die Wartung physisch von Menschen durchgeführt werden, sie müssen auch darüber entscheiden, welche der vorgeschlagenen Maßnahmen wann erfolgen soll, um die Produktion so wenig wie möglich zu stören. Dabei interagieren die beteiligten Menschen kontinuierlich mit den Maschinen, indem sie ihre Zustandsmeldungen und Vorschläge überwachen, ihre Entscheidungen validieren und notwendige Anpassungen vornehmen. Der Mensch wird so zum Dirigenten eines orchestrierten Zusammenspiels zwischen den Maschinen, das darauf abzielt, den Produktionsprozess optimal zu gestalten.

Diese enge Interaktion führt zu einer verbesserten Flexibilität und Effizienz im Produktionsprozess und damit auch zum notwendigen zeitlichen Spielraum für Instandhaltungsmaßnahmen. Die Maschinen übernehmen dabei den Part der vorausschauenden Planung und autonomen Entscheidungsfindung, während Menschen als strategische Leiter agieren und sicherstellen, dass die Vorschläge der Maschinen mit den übergeordneten Produktionszielen und den praktischen Erfordernissen übereinstimmen.

Sind Wartungsmaßnahmen notwendig, wird die Neuplanung der Aufträge, die eine Technikfachkraft basierend auf den maschinellen Analysen und ihrer eigenen Expertise vornimmt, sofort an das Materialflusssystem weitergeleitet. Diese synergetische Kooperation zwischen Mensch-Maschine und Maschine-Maschine zeigt, wie die Integration empathischer Systeme in Produktionsumgebungen auch menschliche Expertise optimal nutzt.

#### DIE FABRIK DER ZUKUNFT

Produktionssysteme, deren Akteure miteinander kommunizieren und kooperieren, gewährleisten einen störungsfreien Betrieb – selbst in unvorhergesehenen Situationen. Diese innovativen Technologien bieten Unternehmen einen entscheidenden Vorteil und zeigen, wie die Fabrik der Zukunft resilienter, dynamischer und leistungsfähiger gestaltet werden kann. Mit diesen Entwicklungen aus dem Fraunhofer-Leitprojekt wird ein neuer Weg beschritten: hin zu einer Industrie, in der Maschinen nicht nur Werkzeuge sind, sondern zu intelligenten Partnern des Menschen werden, die den Erfolg eines Unternehmens nachhaltig sichern. ♦

Weitere Informationen:  
s.fhg.de/emotion-leitprojekt



IHRE ANSPRECHPERSONEN

**Christopher Mühlich**

+49 30 39006-144

christopher.muehlich@ipk.fraunhofer.de

**Prof. Dr.-Ing. Julian Polte**

+49 30 39006-433

julian.polte@ipk.fraunhofer.de

**Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann**

+49 30 39006-100

eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

#### Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION

Auch in der Forschung ist die enge Zusammenarbeit mit Partnern unerlässlich – sei es in Industriekooperationen oder Forschungsverbänden. Erfolgreich können große Projekte nur sein, wenn man die Bedürfnisse der beteiligten Partner kennt.

Genau dies zeigt das Fraunhofer-Leitprojekt EMOTION: Seit 2023 forschen sieben Fraunhofer-Institute an einer gemeinsamen Zukunftsvision, in der Maschinen aufeinander achten und sich im Ernstfall gegenseitig unterstützen. Sogenannte empathische Produktionssysteme sollen eine effizientere und resilientere Kooperation der verschiedenen Akteure in der Produktion ermöglichen – das gilt für die zunehmend intelligenter werdenden Maschinen untereinander, vor allem aber für die Integration des Menschen in komplexe Produktionssysteme.

Beteiligt sind:

Fraunhofer Austria

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP



# Digitalisierung ist Befähiger, nicht Selbstzweck

BMW und Fraunhofer IPK kooperieren regelmäßig – ob zur Erforschung des Einsatzes von Cobots in der Montage oder von digitalen Produktzwillingen zur Emissionsreduzierung, gemeinsam werden ganzheitliche Ansätze für die Produktion von morgen entwickelt. Wie diese aussieht und wie wir dorthin gelangen, erläutert Dr. Milan Nedeljković, Produktionsvorstand der BMW AG, im Interview mit FUTUR.

**Interview mit Dr. Milan Nedeljković, Produktionsvorstand der BMW AG**

| futur | **Die Automobilbranche bewältigt derzeit gleich mehrere Paradigmenwechsel: Sie wird zunehmend elektrisch, digital und zirkulär. Wie stellt sich die BMW Group den sich daraus ergebenden Herausforderungen, insbesondere mit Blick auf die Produktion?**

/ NEDELJKOVIĆ / Aktuell erleben wir eine der größten Veränderungen in der Geschichte der Automobilindustrie. Neue Anforderungen und Technologien greifen tief in die bisherigen Prozesse und Strukturen in unserer Industrie ein – mit starker gegenseitiger Wechselwirkung. Das erzeugt Spannungen und Zielkonflikte, schafft aber auch Räume für innovative Lösungsansätze. Um langfristig erfolgreich zu sein, müssen wir diesen Wandel aktiv gestalten. Dabei geht es vor allem darum, Entwicklungen bestmöglich zu antizipieren, sich

strategisch aufzustellen und gleichzeitig reaktionsfähig zu bleiben. Denn diese Paradigmenwechsel, wie Sie sie nennen, verlaufen nicht linear und sind in ihrer Wirkung nicht immer vorhersehbar. Daher verfolgen wir den strategischen Ansatz der Technologieoffenheit, das heißt, wir legen uns nicht zu früh auf eine Antriebsform fest, sondern überlassen dem Kunden die Wahl zwischen Verbrennungsmotor, vollelektrischem Antrieb oder einem Plugin-Hybrid; und zukünftig auch der Brennstoffzelle. Um dieses breite Angebot nach Bedarf liefern zu können, haben wir unsere Produktion flexibel und resilient aufgestellt.

| futur | **Wie setzen Sie das konkret um?**

/ NEDELJKOVIĆ / Mit der BMW iFACTORY haben wir einen klaren strategischen

## **Dr.-Ing. Milan Nedeljković**

Seit über 30 Jahren ist Dr.-Ing. Milan Nedeljković BMW treu. Der studierte Maschinenbauer und Träger eines Dokortitels der TU München trat 1993 als Trainee in München in die BMW Group ein. Nach mehreren Stationen unter anderem im Karosseriebau und als Werksleiter in Leipzig und München sowie als Leiter Unternehmensqualität, wurde er 2019 in den Vorstand der BMW AG berufen und verantwortet dort das Ressort Produktion.

»Dabei geht es vor allem darum, Entwicklungen bestmöglich zu antizipieren, sich strategisch aufzustellen und gleichzeitig reaktionsfähig zu bleiben.«

Dr. Milan Nedeljković



Rahmen. Sie stellt auch gleichzeitig unser Zielbild für die Produktion der Zukunft dar. Wesentliche Schwerpunkte der iFACTORY sind die Verbesserung der Profitabilität und der Nachhaltigkeit sowie die Stärkung von Innovation und Digitalisierung. Dieser Ansatz gilt weltweit für das gesamte Produktionsnetzwerk der BMW Group.

| futur | **Über Ihr Konzept der iFACTORY heißt es: »Sie ist effizient, präzise und flexibel. Dabei unterstützen digitale Tools wie Data Science und künstliche Intelligenz.« Wie stellen Sie sicher, dass diese Tools in der BMW Group Produktion sinnvoll digital integriert sind – und das über 30 Produktionsstandorte hinweg?**

/ NEDELJKOVIĆ / Zunächst einmal verstehen wir Digitalisierung nicht als Selbstzweck. Sie ist vielmehr ein wichtiger Befähiger. Gerade aktuell erleben wir eine enorme Veränderungsgeschwindigkeit bei digitalen Technologien. So sind wir zunehmend in der Lage, auch komplexe Steuerungs- und Planungsprozesse digital abzubilden. Beispiele dafür sind Digitale Zwillinge und virtuelle Planungsinstrumente, mit denen wir Planungszeiträume deutlich verkürzen und Ideen schneller umsetzen. Das verschafft uns als Unternehmen entscheidende Vorteile.

Bei der Digitalisierung unserer Produktionsstandorte setzen wir auf eine einheitliche Daten- und Netzwerkstrategie. Auf dieser Basis rollen wir eine Vielzahl digitaler Appli-

kationen aus: in der Planung, der Produktion, bei Qualitätsprozessen und in der Logistik. Wir starten jeweils an einem Standort mit einem Piloten und implementieren erfolgreiche Lösungen dann im gesamten Produktionsnetzwerk. Dabei agieren über alle Standorte hinweg Produktionsexperten und Digital Champions als crossfunktionale und internationale Teams. Sie skizzieren Lösungsansätze und teilen ihre Erkenntnisse standortübergreifend – nach Möglichkeit in Echtzeit. Dies erhöht die Geschwindigkeit, aber auch die Effizienz.

| futur | **Künstliche Intelligenz, autonome Logistik, virtuelle Planung und additive Fertigung sind die Schlagworte, unter denen BMW die Digitalisierung der Produktion vorantreibt. Welche**

**Forschungsbedarfe haben diese Bereiche aus Ihrer Sicht miteinander gemeinsam?**

/ NEDELJKOVIĆ / Alle vier von Ihnen genannten Felder sind hochrelevant und in jedem einzelnen stecken enorme Potenziale. Aus meiner Sicht geht es jedoch vor allem um die Vernetzung dieser Technologiefelder. Wenn wir sie intelligent verbinden, öffnen sich gänzlich neue Lösungsräume und Forschungsbedarfe. Wichtig ist dabei aber immer der Praxisbezug, also eine möglichst enge Zusammenarbeit der Forschungs-Community mit Experten aus der Industrie.

| futur | **Am Produktionstechnischen Zentrum Berlin verfolgen wir den An-**

**satz der humanzentrierten Automatisierung, bei der die Fähigkeiten von Menschen und Maschinen optimal ineinandergreifen. Welche Rolle spielt der Mensch heute im Ökosystem Produktion?**

/ NEDELJKOVIĆ / Ohne Menschen geht es nicht – und das wird auch in Zukunft so bleiben. Der Einsatz digitaler Technologien bietet viele Einsatzfelder und zunehmende Möglichkeiten. Insbesondere im Bereich der Qualitätssicherung und der Logistik sind hohe Automatisierungsgrade heute schon darstellbar und sinnvoll. Sie stabilisieren die Prozesse und entlasten gleichzeitig die Mitarbeiter von ermüdenden und repetitiven Tätigkeiten. Denken Sie an Sichtkontrollen am Lack. Eine gut

**Bilder:**  
Effizient, präzise und flexibel soll sie sein, die Fabrik der Zukunft. Industrie und Produktionswissenschaft legen dafür den Grundstein – durch Forschung und Entwicklung in enger Zusammenarbeit.  
© BMW AG

trainierte KI mit hochauflösender Sensorik kann diese Aufgabe heute schon hervorragend übernehmen. Nach vorne blickend werden die Fähigkeiten der Künstlichen Intelligenz zunehmend an Bedeutung gewinnen. Über sie lassen sich auch Steuerungs- und Planungsprozesse digital abbilden. Dennoch ist und bleibt der Mensch in allen Feldern unerlässlich. Bei ihm bleibt die konzeptionelle Stärke und final die Entscheidungshoheit. ♦

# Mit Modellen zur modularen Montage

Ganzheitlich und gemeinsam Produktionsinnovationen entwickeln geht nicht? Doch: mit einem integrierenden Modell.



Der Markt für elektrische Werkzeuge ist besonders hart, Unterschiede von manchmal weniger als einem Euro pro Gerät entscheiden über die Konkurrenzfähigkeit eines Herstellers. Gleichzeitig werden die Produkte rasant individueller und die geforderten Stückzahlen dramatisch geringer. Wer seine Produktion darauf einstellen und schnell auf Kundenwünsche reagieren kann, gewinnt Aufträge. Bis vor fünf Jahren konnten Hersteller mit einer durchschnittlichen Losgröße von über 2000 Stück planen. Heute müssen aufgrund geringerer Auftragsgrößen die Anlagen oft nach weniger als 300 Geräten auf ein anderes Produkt umgerüstet werden.

Das hat Folgen für fast alle Betriebsbereiche von Unternehmen in der Branche. Angefangen mit den Produktionstechnologien: Der Automatisierungsgrad muss auch bei geringen Stückzahlen drastisch erhöht und zugleich die Rüstzeit auf einen Bruchteil der früheren reduziert werden – und das alles auf wirtschaftliche Art. Für die Produktionsplanung bedeutet das deutlich zeit- und ressourcenintensivere Planungsaktivitäten, da kleinere variantenreiche Losgrößen viel mehr Steuerungsaufwand mit sich bringen als eine hochskalierte Massenproduktion. Weil sich daraus eine hohe Änderungsdynamik ergibt, müssen Beschaffungs- und Vertriebslogistikprozesse sowie das komplette ganzheitliche Produktionsmanagement grundlegend umgestaltet werden.

## NEUORGANISATION DER PROZESSLANDSCHAFT

Vor diesem Hintergrund hat ein weltweit agierender Hersteller Fachleute vom Fraunhofer IPK ins Boot geholt, um die entsprechende Anpassung seiner Prozesslandschaft zu unterstützen. Dabei wurde die Idee, die Montageprozesse auf zukunftsweisende Art zu modularisieren, zum Ausgangspunkt für eine komplette Neugestaltung der Produktionsabläufe. Prozessabhängigkeiten machen es erforderlich, dass einer neuen Produktionstechnologie schrittweise die Anpassung der Steuerungsprozesse, der Logistik, der Managementprozesse, des Zuliefermanagements oder der Fabrik-IT folgen muss. Sowohl dem Unternehmen als auch dem Fraunhofer IPK-Team war von Anfang an klar, dass dabei ein traditionelles sequenzielles Vorgehen aufgrund der Marktdynamik keine Option war. Daher wurde entschieden, dass gemeinsame Teams aus Mitarbeitenden des Unternehmens und des Fraunhofer IPK in fünf parallelen Projektstreams Innovationen auf allen Ebenen der neuartigen Fabrikstruktur gleichzeitig entwickeln sollten.

Eins der Teams erarbeitete eine innovative Methode zur Modularisierung der Montage, bei der neue Produkte innerhalb kurzer Zeit mit wenig Anpassungsaufwand und geringen Rüstzeiten auf modularen Anlagen hergestellt werden können. Ein anderes Team sorgte dafür, dass die Fabrik-IT die schnellen Wechsel und Umpla-

nungen unterstützt. Für die übergeordnete Steuerung der Abläufe auf dem Shopfloor wurde eine SOFT-SCADA entwickelt, die nicht unprogrammiert werden muss, sondern über ein Modell konfiguriert wird. Das System steuert die schnell zu einer Linie zusammengestellten Anlagen gemeinsam und zeichnet Daten über deren Betrieb auf. Dabei sorgt das zugrundeliegende Modell dafür, dass von Enterprise-Resource-Planning-(ERP)-Funktionen bis zur Maschinenansteuerung alle Systeme nahtlos integriert und doch flexibel agieren. Eine weitere Arbeitsgruppe krempelte das ganzheitliche Produktionssystem so um, dass die Mitarbeitenden zunächst das »Warum« besser verinnerlicht und dann die Rüstzeiten von über zwei Stunden auf unter zehn Minuten reduziert werden konnten.

## BLAUPAUSE FÜR DIE FABRIK DER ZUKUNFT

Insgesamt schaffte es das Projekt, sehr unterschiedliche, doch eng miteinander verknüpfte Innovationsprozesse mit ihren Risiken zu synchronisieren, ohne dass sie sich gegenseitig behindern. Die Grundlage für diesen Erfolg ist ein Unternehmensmodell als gemeinsame Basis aller Innovations-, Gestaltungs- und Implementierungsprozesse. Dieses Modell berücksichtigt neben den internen und angrenzenden Wertschöpfungsprozessen auch deren Steuerung, die Managementprozesse sowie die Werksassets – wie Maschinensysteme, Anlagen und IT-Infrastruktur – und nicht zuletzt die Unternehmensorganisation mit ihren Rollen und Verantwortlichkeiten. Innerhalb eines Monats wurde ein Initialmodell erstellt, auf dessen Basis die einzelnen Teams parallel arbeiten und sich bei grundlegenden Änderungen einfach abstimmen konnten. Während der folgenden Entwicklungstätigkeiten entwickelte das Modell sich kontinuierlich dezentral weiter. Es half, Abhängigkeiten schnell zu identifizieren und die Auswirkungen von Technologielösungen auf andere Bereiche zu bewerten. Heute hilft eine integrierte ökonomi-

**Insgesamt schaffte es das Projekt, sehr unterschiedliche, doch eng miteinander verknüpfte Innovationsprozesse mit ihren Risiken zu synchronisieren, ohne dass sie sich gegenseitig behindern.**

**Das Wichtigste ist jedoch, dass die Mitarbeitenden, vom IT-Management bis zum Werker oder der Qualitätsingenieurin anhand des integrierten Modells die nächsten Schritte gemeinsam gehen können.**

sche Komponente des Modells, eine neue Technologieoption ad hoc auf ihre Wirkung zu bewerten. Man denke zum Beispiel an die Frage, welchen Einfluss die Auslegung eines Montageroboters auf die Stückkosten der damit produzierten Geräte haben wird. Die integrierende Wirkung des Modells geht mittlerweile so weit, dass unterschiedliche Simulationsmodelle auf intuitive Art miteinander vernetzt sind – etwa Simulationen aus der Logistik mit einem kinematischen Robotermodell.

Fünf Jahre nach der initialen Idee arbeitet die modulare Anlage bereits in der Massenproduktion, erreicht eine Verfügbarkeit von über 99 Prozent und stellt trotz der hohen Individualisierung Produkte wirtschaftlich her. Die erforderliche Fabrik-IT ist von einem neuen ERP-System über ein erstmals realisiertes Manufacturing Execution System (MES) bis zur flexiblen Anlagenansteuerung mit der SOFT-SCADA operativ. Das wichtigste ist jedoch, dass die Mitarbeitenden, vom IT-Management bis zum Werker oder der Qualitätsingenieurin anhand des integrierten Modells die nächsten Schritte gemeinsam gehen können. Dazu gehört zum Beispiel die Ableitung eines Blueprint Plant Models (BPPM), mit dessen Hilfe auf Basis des erarbeiteten Modells global Schwesterwerke so realisiert werden können, dass sie optimal an die jeweiligen Marktbedingungen angepasst sind und sich trotzdem in hohem Maße ähneln. Das Team, das aktuell damit betraut ist, ein neues Werk einzurichten, möchte das BPPM am liebsten schon Anfang 2025 als Realisierungsbasis für alle Partner einsetzen. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Knothe** | +49 30 39006-195  
thomas.knothe@ipk.fraunhofer.de

# Innovation auf allen Ebenen

**Vom kleinsten Start-up bis hin zu ganzen Nationen – wer in den schnelllebigen globalisierten Marktstrukturen von heute überleben will, braucht eine gut durchdachte, belastbare Strategie.**

Technologische Innovationen tragen entscheidend zu Volkswirtschaften bei: Bis zu 85 Prozent des Wirtschaftswachstums können sie ausmachen. Die Voraussetzung dafür sind gut fundierte und implementierte Strategien, von den Geschäftsprozessen einzelner Unternehmen bis hin zu den politischen Leitlinien nationaler Innovationssysteme. Denn der durchschlagende Erfolg von Innovationen hängt nicht nur von den Leistungen einzelner Akteure ab. Vielmehr entsteht er durch das optimale Zusammenspiel zwischen Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen und der Politik. Auch die strukturellen, kulturellen und finanziellen Rahmenbedingungen einer Region oder eines Landes spielen eine große Rolle. Die Grundlagen für gelungene Innovation werden also auf unterschiedlichen Ebenen gelegt:

Die **Mikroebene** besteht aus Einzelakteuren und kleineren Einheiten wie beispielsweise Unternehmen oder Forschungsinstituten. Die **Mesoebene** enthält Cluster wie beispielsweise regionale Wissenschafts- und Technologieparks. Auf der **Makroebene** finden sich großskalige, also überregionale, nationale Netzwerke oder sogar internationale Player.

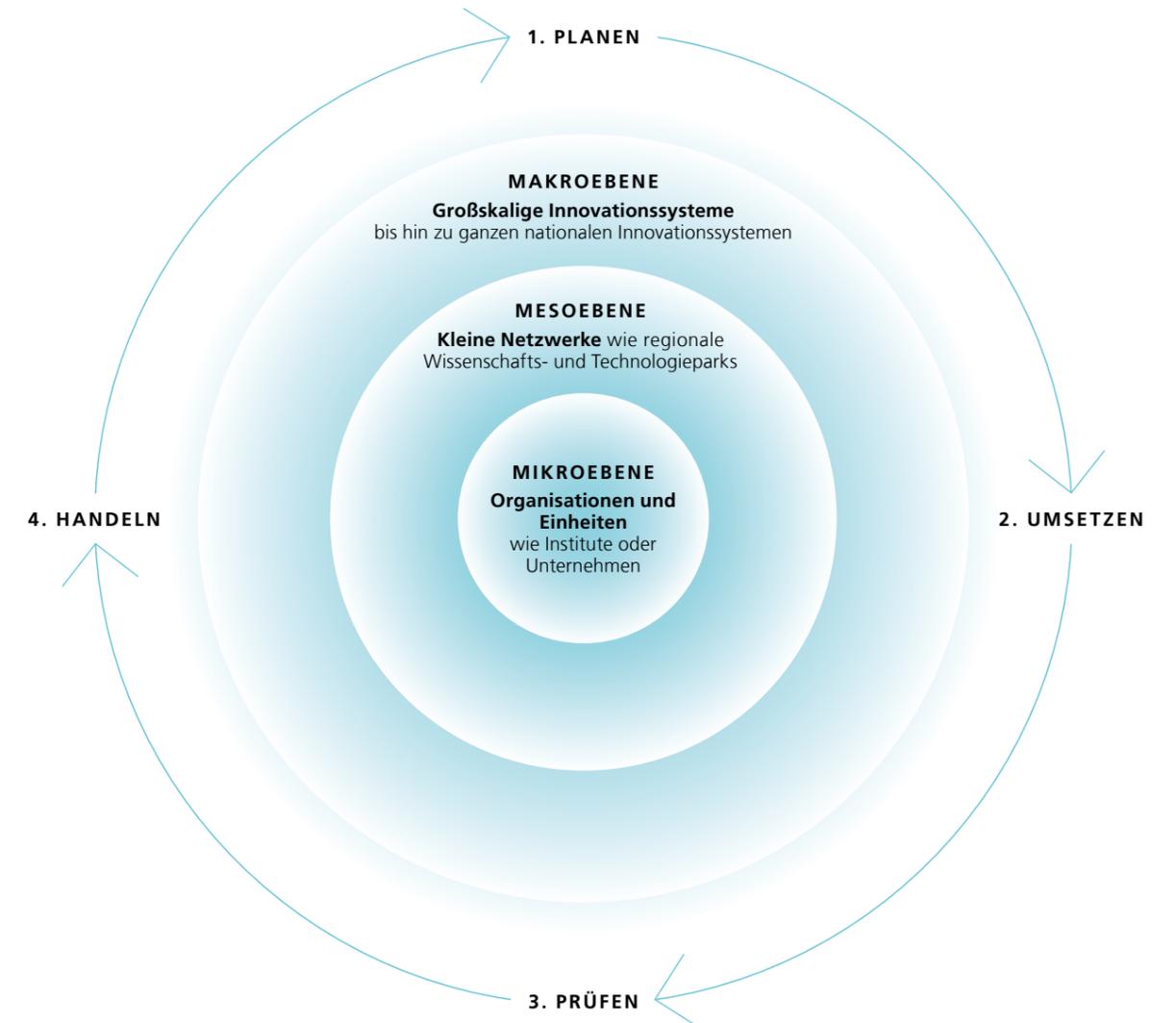
IHRE ANSPRECHPERSON  
**Dr.-Ing. Fabian Hecklau** | +49 30 39006-555  
 fabian.hecklau@ipk.fraunhofer.de

Die drei Ebenen der Innovationssysteme stehen nicht unverbunden nebeneinander, sondern lassen sich vereinfacht als ineinanderliegende Schalen verstehen. Bei dieser Betrachtungsweise wird klar, dass die Lösungen und Akteure aller drei Ebenen integriert gedacht werden müssen, um die besten Voraussetzungen für ein innovationsfreundliches Umfeld zu schaffen – egal ob das Zielsystem ein Betrieb, ein Technologiepark oder eine Nation ist. Denn die schönste landesweite Industriepolitik hilft nichts, wenn diejenigen, die die politischen Leitlinien umsetzen sollen, nicht gut dafür aufgestellt sind. Umgekehrt wird ein besonders erfinderisches Start-up nie sein volles Potenzial entfalten können, wenn es nicht auf die Infrastruktur eines gut etablierten Forschungsökosystems zurückgreifen kann.

An dieser systemischen Integration setzen Forschende des Fraunhofer IPK an. Im Kompetenzzentrum Innovationssysteme und -strukturen (CCIS) erarbeiten sie umfassende Systemlösungen, die alle drei Ebenen einbeziehen. Erfahrung haben sie dabei reichlich, das CCIS-Team hat schon viele Projekte unterschiedlicher Größenordnungen betreut. Sie begleiten ihre Partner dabei entlang eines etablierten Prozesses.

Dieser beginnt stets mit einer umfassenden Analyse der aktuellen Situation sowohl in der Region oder dem Land als auch beim Auftraggeber selbst. Ziel ist es, die interne und externe Ausgangslage vollständig zu verstehen. Im nächsten Schritt wird ein Soll-Zustand des Innovationssystems entworfen. Gemeinsam mit dem Auftraggeber entwickeln die Forschenden ein Idealbild der Innovationsstruktur, ob auf Mikro-, Meso- oder Makroebene. Diese Zukunftsvision umfasst alle notwendigen Strukturen, Partnerschaften und Finanzströme sowie inhaltliche Aspekte wie Forschungsthemen und konkrete Forschungsdienstleistungen. Der letzte Schritt ist die Implementationsplanung. Hier wird detailliert festgelegt, wie der Übergang von der aktuellen Situation zur angestrebten Soll-Struktur erfolgen soll. Das Team plant strategische Maßnahmen, die der Partner durchlaufen muss, um den Zielzustand zu erreichen. Diese Maßnahmen werden in eine zeitliche Reihenfolge gebracht, sodass eine konkrete Implementationsroadmap entsteht.

Dieser dreistufige Ansatz stellt sicher, dass alle Ebenen des Innovationssystems integriert betrachtet werden – die beste Voraussetzung für ein innovationsfreundliches Umfeld.



**LEISTUNGEN DES KOMPETENZZENTRUMS INNOVATIONSSYSTEME UND -STRUKTUREN**

<b>Megatrendanalysen</b>	<b>Framework-Analysen</b>	<b>Strategische Marktanalysen</b>
	<b>Öffentliche und private Finanzierungsmechanismen</b>	<b>Strategieentwicklung</b>
<b>Governance-Strukturen</b>	<b>Strukturen für Kooperation</b>	<b>Geschäfts- und Implementierungsplanung</b>
	<b>Ressourcen- und Finanzplanung</b>	<b>Kompetenzentwicklung</b>
<b>Netzwerkmanagement</b>	<b>Managementbewertung</b>	<b>Technologiebewertung</b>

# Der X-Faktor

Von Gaia-X bis Manufacturing-X – digitale Ökosysteme sollen einen effektiven und sicheren Datenaustausch in der Industrie ermöglichen. Welchen Nutzen Unternehmen davon haben, erläutern Ernst Stöckl-Pukall, Leiter des Referats »Digitalisierung, Industrie 4.0« im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie die Fraunhofer IPK-Experten Prof. Dr. Holger Kohl und Dr. Kai Lindow im Gespräch mit FUTUR.



Ernst Stöckl-Pukall

| futur | **Nicht nur aus der Politik kommt der Impuls zur Schaffung gemeinsamer Datenräume, auch aus der Industrie werden die Rufe danach immer lauter. Welche Fragen stehen dabei für Unternehmen im Vordergrund?**

/ STÖCKL-PUKALL / Das ist sehr unterschiedlich. Es fängt bei kleinen und mittleren Unternehmen mit der Überlegung an: Wie kann ich da überhaupt mitmachen? Was bedeutet das für mich? Für uns ist die Teilhabe des Mittelstands ein großes Thema, vor allem angesichts der Frage, wie wir es schaffen, komplexere, hoch innovative und interoperable Datenökosysteme zu bauen. Das ist keine Aufgabe, die ein KMU allein machen könnte, sondern das ist eine Gemeinschaftsaufgabe. Aus dem Spektrum kommen natürlich viele Fragen, Ideen und Initiativen. Diese miteinander zu verbinden, das ist eigentlich die große Kunst. Aber ich finde es toll, dass wir es in Deutschland geschafft haben, insbeson-

dere mit Catena-X und Manufacturing-X, Schwung hinzubekommen, dass es dazu jetzt auch den Willen gibt. Das ist ein großer Schritt, den wir in den letzten Jahren gemacht haben.

/ KOHL / Was der Industrie sehr wichtig ist, ist Interoperabilität. Dazu gehören Themen wie Datenintegration und Datenaustausch, aber auch Datenhoheit und Datensicherheit. Unternehmen sollten bei dem Austausch von Daten über Industrial Data Spaces immer entscheiden können, wem sie welche Daten schicken, wie die Daten gesendet werden und dass die Daten, die sie bekommen, von hoher Qualität sind. Was man auch immer sagen muss, weil es ja ein Industriethema ist, kein politisches und kein Forschungsthema: Wie ist der Mehrwert am Ende für die Unternehmen? Unternehmen müssen erkennen, dass sie durch Datenräume bessere Dienstleistungen erhalten, aber auch

Dienstleistungen anbieten können. Neue Geschäftsmodelle durch Datenaustausch spielen eine wichtige Rolle. Dazu gehören auch Themen wie Standardisierung und Kompatibilität.

/ LINDOW / Wir wissen aus vielen Kundengesprächen, dass sich Unternehmen immer die Frage stellen, wie sie mit Daten auch tatsächlich Wertschöpfung betreiben können – und das auf drei Ebenen: innerbetrieblich, wenn sie verschiedene Datenquellen miteinander intern vernetzen; überbetrieblich, wenn Unternehmen zum Beispiel mit Zulieferern in einen Datenraum eintreten und drittens, wenn sich Unternehmen branchenübergreifend über Datenräume vernetzen. Die Projekte in den Gaia-X-Domänen sowie insbesondere Catena-X sind bei der Vernetzung in den Lieferketten schon weit vorangeschritten. Mit Aerospace-X versuchen wir gerade, dieselben Mechanismen auch auf die Luft-

fahrtindustrie zu übertragen. Die Frage, die uns Unternehmen dabei stellen, ist: Welchen Produktivitätsvorteil im Sinne von Wertschöpfungsvorteil haben wir? Da müssen wir die Unternehmen abholen.

| futur | **Welchen Nutzen bringen Datenräume in der Anwendung, insbesondere bezüglich Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft?**

/ KOHL / Es gibt den Slogan, dass Nachhaltigkeit ohne Digitalisierung nicht möglich ist. Dem kann man grundsätzlich zustimmen, insbesondere wenn man Aspekte der Regulierung sieht. Dazu gehören zum Beispiel die Corporate Sustainability Reporting Directive, das Lieferketten-Sorgfaltspflichtengesetz, aber auch digitale Produktpässe. Was hier eine ganz wichtige Rolle spielt, ist, dass nicht nur Unternehmen innerhalb der Wertschöpfungskette, sondern auch nachgelagerte Unternehmen wie zum Beispiel Recyclingfirmen, Reverse-Logistics-Unternehmen oder Demontagefabriken in der Lage sind, Produkt- und Prozessdaten über den Lebenszyklus eines Produkts zu erhalten, um am Ende die richtige Entscheidung zu treffen, ob zum Beispiel etwas wiederverwertet, weiterverwendet oder recycelt werden kann. Das betrifft auch das Reporting. Mit der

Corporate Sustainability Reporting Directive sind Unternehmen gezwungen, über Nachhaltigkeitsaspekte zu berichten, und das nicht nur im Rahmen ihrer eigenen Tätigkeit, sondern auch in Bezug auf vorgelegte und nachgelagerte Prozesse. Das sind die sogenannten Scope-1-, Scope-2- und Scope-3-Emissionen. Hier müssen Unternehmen sich darauf verlassen können, dass sie die Informationen, die sie von ihren Zulieferern bekommen, valide in ihr eigenes Reporting integrieren können. Das Thema Compliance spielt hier ganz stark mit rein, also wie kann ich auch über Datenräume sicherstellen, dass die Daten, die ich vom

Zulieferer des Zulieferers bekomme, wirklich validiert, wenn möglich zertifiziert sind. Regulierung und Compliance sind damit auch große Treiber für Datenaustausch und Wertschöpfungsketten.

/ LINDOW / Aus einer Produktsicht muss differenziert werden, ob Kreislaufwirtschaft und Kreislauffähigkeit im Sinne der Wertschöpfung ermöglicht oder ob Kreislaufwirtschaft und Kreislauffähigkeit bewertet werden sollen. Diese Differenzierung fällt nicht immer leicht, weil viel politischer Drang dahin geht, zu sagen, wir müssen den Product Carbon Footprint bewerten. Aber der eigentliche Mehrwert aus meiner Perspektive, und das ist auch das, was die Unternehmen vielfach bewegt, ist zu prüfen: Wie kann ich Datenmodelle untereinander austauschen, um produktbezogene Prozesse effizienter zu machen? Wie kann ich Datenschätze in Unternehmen heben, die irgendwann einmal unstrukturiert abgelegt wurden? Wie kann ich sie im Nachgang labeln und strukturieren, damit ich geeignete Module oder Komponenten identifizieren kann, um besser ins Reuse oder Remanufacturing zu gehen. Diese Fragen sind einerseits datengetrieben. Andererseits ist Kreislaufwirtschaft tatsächlich auch ein Wirtschaftsthema und um hier zu den richtigen Antworten zu kommen, braucht es vernetzte Datenräume.



Dr. Kai Lindow



Prof. Dr. Holger Kohl

**/ STÖCKL-PUKALL /** Wenn wir von Datenräumen sprechen, meinen wir eigentlich Datenökosysteme, die Innovationen zulassen. Wir bauen nicht einen Use Case und dann einen Datenraum drumherum. Sondern es geht darum, ein System zu automatisieren, zu flexibilisieren, sodass es erweitert werden kann, sprich Innovationen darauf entstehen können. Und eine, sicher regulierungsgetriebene, Innovation ist der Product Carbon Footprint. Wenn ich ein funktionierendes integriertes Datenökosystem habe, kann ich diesen Nachweis sehr einfach erbringen. Dieser systemische Gedanke ist für mich ganz entscheidend. Wir brauchen sehr viel Automatisierung, um die Kosten der Datenökonomie auch massiv nach unten zu bekommen. Interessant ist doch, wenn bei Catena-X ein Supplier ein Produkt an die Automobilindustrie liefert, liefert er es vielleicht auch noch in drei andere Branchen. Da möchte er nicht unterschiedliche Systeme haben. Das muss man verknüpfen. Sonst werden mittelständische Unternehmen gar keine Lust haben, dabei zu sein. Wir brauchen ja auch zum Beispiel eine Betreibergesellschaft, eine Onboarding-Gesellschaft. Soll jedes Start-up ein Ökosystem, eine eigene Betreibergesellschaft

organisieren? Das wird nicht funktionieren. Also das Systemische müssen wir schaffen, nicht ständig über die Technologie reden, sondern vielmehr darüber, was dabei herauskommt – und das kann vieles sein. Wir sehen ja die Recycling Use Cases bei Catena-X. Es ist einfach fantastisch, wenn durch eine Durchgängigkeit der Daten ein Marktplatz entsteht, von dem alle profitieren.

**/ LINDOW /** Genau, wir müssen den Unternehmen vermitteln, dass sie in ihre Zukunft investieren, wenn sie Funktionalität über Datenräume aufbauen. Damit wird ihnen später besser gelingen, was sie heute noch nicht können. Diesen strategischen Aspekt für die Unternehmen zu betonen, ist entscheidend: Vielleicht bringt ein einzelner Use Case noch keinen unmittelbaren Nutzen, aber er demonstriert das technisch Machbare. Der größere Rahmen muss unternehmensstrategisch aufgespannt werden und der liegt in der Zukunft. Dieses Potenzial auszuschöpfen, daran arbeiten zum Beispiel Projekte aus Manufacturing-X.

**/ STÖCKL-PUKALL /** Man braucht immer die Vision, muss dann aber auch wissen,

wie man anfängt: mit Use Cases, die man schnell auf die Straße bringt. Dieses ganze Spektrum wirklich sauber darzustellen, ist wichtig. Das Kernthema, meine ich, ist: Wie werde ich überhaupt »data ready«?

| futur | **Wie können Datennormierung und Standardisierung hier helfen?**

**/ KOHL /** Ich glaube, es ist wichtig, dass Daten verifiziert werden können und dass wir sicherstellen, dass Daten nicht manipuliert werden. Das ist eine Aufgabe, die Datenökosysteme erfüllen müssen. Ein weiterer Aspekt ist, wie man auch über Interoperabilitätslösungen sicherstellen kann, dass eine Datendurchgängigkeit und Normierung erfolgen kann. Es gibt im Rahmen der Catena-X-Initiative zum Beispiel den Eclipse Data Space Connector, der Daten aus verschiedenen Systemen miteinander so verbindet, dass ein Austausch möglich wird. Eine solche förderierte Interoperabilität oder auch Coexisting Standards zu ermöglichen, ist uns am Fraunhofer IPK sehr wichtig.

**/ LINDOW /** Wenn wir in das horizontale Vernetzen von Datenräumen gehen und branchenübergreifend unterwegs sind, dann reicht es nicht, über reine Datenstandards zu sprechen. Da kann man auf Datenmodellebene arbeiten, um einen Austausch zu ermöglichen. Hier stellen sich beispielsweise Fragen, wie man Datenstandards in verschiedenen Branchen verfügbar machen kann, um etwa den Betrieb von Maschinen und Anlagen oder mobilen Geräten zu ermöglichen. Wie kann man die gleichen Daten aber auch nutzen, um Vorhersagen zum Korrosionsverhalten zu treffen, um dann wiederum die Lebensdauer abzuschätzen und darauf basierend eine Einschätzung zur Kreislauffähigkeit zu treffen? Diese ganzen Ketten zu durchdenken und branchenübergreifende Standards zu entwickeln, das wäre mein Wunsch. Im Moment wird sich noch sehr stark auf eine Branche und deren Daten konzentriert.

**/ STÖCKL-PUKALL /** Ich meine, wir brauchen dringend funktionierende Datenaustauschformate und Data-Space-Protokolle. Wir benötigen eine Art Governance, mit der man in einer Community den Gesamtprozess steuert. Wenn zum Beispiel eine Betreibergesellschaft das Onboarding machen soll, brauche ich ein Zertifizierungssystem, das die Zulassung regelt. Oder wenn es darum geht, Open-Source-Software zu entwickeln, jenseits von einfachen, vielleicht technologischeren Standards. Die muss ständig weiter gepflegt werden. Das gleiche gilt für einen Standard. Genau wie eine Software ist er iterativ und muss weiterentwickelt werden. Diese neuen Prozesse muss man im Gesamtzusammenhang sehen, damit das Systemische entstehen kann. Das ist mir sehr wichtig. Das wird zu wenig erzählt, weil die Rollen in Datenökosystemen sehr unterschiedlich sind. Wir müssen die Rollen aller Beteiligten viel klarer herausarbeiten, damit sie sich untereinander verstehen. Bin ich ein Unternehmen, das für die Technologie im Hintergrund verantwortlich ist? Biete ich einen Service über ein App an? Bin ich jemand, der diese App nutzen will und verstehen muss, wie sie funktioniert? Oder stehe ich ganz am Anfang und brauche Unterstützung, um data ready zu werden. Datenräume sind hochkomplex, aber nicht alle müssen alles machen. Es muss nur jeder seine Rolle verstehen, meine ich.

| futur | **Wie würden Sie Unternehmen motivieren, das Thema Data Readiness anzugehen?**

**/ KOHL /** Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit hängt maßgeblich davon ab, und zwar für alle Unternehmen in einer Zulieferkette. Wer die Daten, die Abnehmer verlangen, nicht liefern kann, wird es in Zukunft am Markt sehr schwer haben. Ich glaube auch, dass die Bundesrepublik Deutschland im Moment, was das Thema Datenräume betrifft, wirklich auf dem Fahrersitz sitzt und aufpassen muss, dass es eben diesen Fahrersitz nicht wieder ver-

## »In Catena-X und Manufacturing-X haben wir gelernt, dass man die Entwicklung und die konkrete Anwendung am Markt parallel betreiben muss.«

Ernst Stöckl-Pukall

liert. Wir sind im Moment führend in Europa, was dieses Thema betrifft, müssen aber am Ball bleiben und es in die breite Anwendung bringen. Damit es sich auch am Ende wettbewerbsfähig für die deutsche Wirtschaft auszahlt.

**/ STÖCKL-PUKALL /** Im Kern müssen wir dafür sorgen, dass Unternehmen die Gesamtvision kennen und verstehen, was sie im Einzelnen für sie bedeutet. Datenräume allein sind ja nicht das allheilbringende Mittel. Dazu gehören noch andere Themen wie Künstliche Intelligenz. Das heißt, wir brauchen Systeme, die uns helfen, Daten sinnvoll gemeinsam zu nutzen. Wir haben ein großes europäisches IPCEI-Projekt gestartet, um nicht nur föderierte Datenökosysteme, sondern auch eine föderierte digitale Infrastruktur zu schaffen. Ich kann nur alle dazu ermutigen, diese Vision Stück für Stück zu verstehen und daran zu glauben. Ansonsten werden wir wieder von großen nicht-europäischen Plattformen und Unternehmen überholt, die schneller in der Umsetzung sind. Wir können nicht immer drei Jahre warten und dann schauen, ob etwas funktioniert und erst dann in die Breite gehen. In Catena-X und Manufacturing-X haben wir gelernt, dass man die Entwicklung und die konkrete Anwendung am Markt parallel

betreiben muss – also nicht warten, bis die große Rakete startet, sondern wirklich Schritt für Schritt. Das erfordert Mut zum Anfangen und zum Machen.

**/ LINDOW /** Kurz gesagt: einfach anfangen, keine Scheu haben! Die Probleme in der derzeitigen Wertschöpfung sind den meisten Unternehmen bekannt. Die Potenziale von Daten und den damit verbundenen Technologien zum Lösen der Probleme sind häufig eher weniger bekannt. Die beiden Welten zusammenzubringen, stellt viele Unternehmen dann vor die größte Herausforderung. Von daher müssen Unternehmen eine gute Balance zwischen systematischem und explorativem Vorgehen finden, um data ready zu werden. Wichtig ist dabei, dass sie immer nah an ihrer Wertschöpfung agieren und Management, IT und Fachabteilungen an einem Strang ziehen. ♦

IHRE ANSPRECHPERSONEN

**Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl**  
+49 30 39006-233  
holger.kohl@ipk.fraunhofer.de  
**Dr.-Ing. Kai Lindow**  
+49 30 39006-214  
kai.lindow@ipk.fraunhofer.de

**»Wir müssen den Unternehmen vermitteln, dass sie in ihre Zukunft investieren, wenn sie Funktionalität über Datenräume aufbauen.«**

Dr. Kai Lindow

# Die Datendirektoren

Technisch herausfordernd, strategisch unerlässlich: Um komplexe Entwicklungs- und Produktionsprozesse zu orchestrieren, müssen Unternehmen verschiedene IT-Systeme und ihre Daten integrieren.

Um sich strategisch wettbewerbsfähig aufzustellen, dürfen produzierende Unternehmen sich nicht im Kleinklein der Einzellösungen verlieren. Statt nur zu fragen, was für jeden Geschäftsprozess die richtige Software ist, sollten sie deshalb eher aktiv an einer konsequenten Datendurchgängigkeit arbeiten, die sich an den wertschöpfenden Tätigkeiten im Unternehmen orientiert.

Denn wie die Instrumente eines Orchesters haben die verschiedenen IT-Systeme im Unternehmen ihre ganz eigene Rolle: Während die Klarinette gerade im Solo brilliert, sorgen die Geigen für einen Klangteppich und der Paukenschlag verkündet das Ende des Satzes. Jeder dieser Klänge basiert letzten Endes auf demselben Medium – was im Orchester die Schwingungen der Luft sind, sind im Unternehmenskontext die Nullen und Einsen der Daten. Während bei den Streichern die Saiten und bei der Percussion die Trommelfelle vibrieren, geben in einer hochdigitalisierten Produktion die Daten den Ton an. Und so hat auch jedes IT-System seinen eigenen »Klang«: Ob klassischerweise Engineering-fokussierte Systeme wie PLM (Produktlebenszyklusmanagement) oder fertigungsorientierte Systeme wie ERP (Enterprise Resource Planning), sie alle haben jeweils eigene Funktionen in produzierenden Unternehmen. Um diese hochspezialisierten Instrumente zu einem stimmigen Ganzen zu vereinen, müssen sie zusammengehalten und integriert werden. Wie können Ingenieurinnen und Ingenieure als Datendirektoren den Takt entlang des Produktlebenszyklus angeben?

müssen möglichst alle unternehmenseigenen IT-Systeme wie PLM, ERP, IoT, nahtlos ineinander integriert werden. Idealerweise können Unternehmen mithilfe der eingesetzten Systeme alle lebenszyklusbezogenen Daten ihrer Produkte verwalten – von der ersten Idee über die Entwicklung und Fertigung bis hin zur Wartung und Entsorgung. So unterstützen die Systeme entlang der unternehmensinternen und -externen Prozessketten dabei, Produkte effizienter zu entwickeln und zu fertigen, die Zusammenarbeit zu verbessern und eine durchgängige Datenhaltung für weitere Geschäftsprozesse sicherzustellen.

Häufig erschweren jedoch über Jahre hinweg aufgebaute, heterogene IT-Landschaften die Verknüpfung der Daten. IT-Systeme, die auf unterschiedlichen Technologien basieren, miteinander zu verbinden, ist eine technische Herausforderung, die eine sorgfältige Planung und Implementierung erfordert. Hinzu kommt die Vielfalt der damit verbundenen unterschiedlichen Datenformate und -modelle. Eine erfolgreiche Integration ist dann nur möglich, wenn Datenmodelle harmonisiert werden, um konsistente Informationen über alle Systeme hinweg zu gewährleisten.

In vielen Branchen nimmt darüber hinaus die Sensibilität und Regulierung hinsichtlich Datensicherheit und Compliance zu. Digitalisierung und Vernetzung bergen auch Sicherheitsrisiken. Besonders im Kontext von IT-Systemen, in denen sensible produkt- und prozessbezogene Daten verwaltet werden, müssen hohe Sicherheitsstandards eingehalten werden. Auch regulatorische Anforderungen wie Datenschutz oder branchenspezifische Vorschriften wie zum Beispiel in der Medizintechnik spielen eine wichtige Rolle.

## SICHERE DATENRÄUME SCHAFFEN

Um sich während des Konzerts zu orientieren, brauchen Dirigentinnen und Dirigenten besonders komplexe integrierte Notensätze, in denen alle Instrumente notiert sind. Diese geben ihnen einen gut strukturierten Raum vor, innerhalb dessen sie dirigieren können. Auch Unternehmen benötigen solche Rahmen, um ihre Datenverknüpfung und -integration zu optimieren. Hier kommen Initiativen wie Gaia-X und Catena-X ins Spiel.

Die europäische Initiative Gaia-X zielt darauf ab, eine sichere und vertrauenswürdige Dateninfrastruktur zu schaffen, bei der die Datensouveränität der Unternehmen gewahrt wird. Eine föderierte Cloud-Infrastruktur ermöglicht es, Daten sicher zu speichern und zu teilen. Besonders im Bereich der Produktentwicklung, wo oft große Mengen an Informationen anfallen, bietet die Integration mit Gaia-X eine skalierbare und sichere Lösung für deren Austausch und die Speicherung. So behalten Unternehmen auch in der Cloud die volle Datenhoheit und -kontrolle. Ein weiterer Vorteil von Gaia-X ist die Förderung von Interoperabilität. Durch die Definition offener Standards und Protokolle erleichtert Gaia-X den Austausch zwischen verschiedenen Cloud-Diensten und IT-Systemen. Dies ermöglicht es Unternehmen, ihre PLM-Systeme nahtlos mit anderen Systemen zu verknüpfen und so den Informationsfluss über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg zu optimieren.

Auf der so geschaffenen gemeinsamen Dateninfrastruktur setzt Catena-X auf, ein zunächst automobilbezogenes Netzwerk, in dem Zusammenarbeit und Datenaustausch in der Zuliefererkette verbessert werden sollen. Ziel ist es, eine durchgängige und transparente Datenverknüpfung entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen. Catena-X basiert auf einer offenen, standardisierten Plattform, die Hersteller und Zulieferer miteinander vernetzt und den sicheren Austausch von Daten erleichtert. Ein zentraler Aspekt ist auch bei Catena-X wieder die Einhaltung der Datensouveränität im gesamten Produktlebenszyklus. Jedes Unternehmen behält die volle Kontrolle über seine Daten und entscheidet, mit wem und zu welchem Zweck diese geteilt werden.

## DATENVERKNÜPFUNG UND -INTEGRATION: DIE GRUNDLAGEN

Diese Aspekte sind bei der IT-Systemintegration aus PLM-Perspektive besonders wichtig:

**Datenquellen:** Idealerweise sollten IT-Systeme auf eine gemeinsame, zentrale Datenquelle zugreifen. So wird sichergestellt, dass keine doppelten oder widersprüchlichen Informationen in den verschiedenen Systemen vorliegen. Besonders im PLM-Umfeld ist dies entscheidend, da hier oft dieselben Daten in verschiedenen Kontexten genutzt werden – etwa bei der Konstruktion, der Fertigung und dem End-of-Life.

**Datenmodellierung:** Die Erstellung kompatibler Datenmodelle ist aus PLM-Perspektive ein zentraler Punkt. Durchgängige Datenmodelle sorgen dafür, dass Daten konsistent über verschiedene Systeme hinweg genutzt werden können. Dabei geht es auch um die Harmonisierung von Stammdaten wie Produktnummern oder Lieferantendaten und darum, sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen in den jeweiligen Systemen verfügbar sind.

**Datenschnittstellen:** Um den Datenaustausch zwischen verschiedenen IT-Systemen zu ermöglichen, ist ein effektives Schnittstellenmanagement essenziell. Daten müssen zwischen den Systemen schnell und sicher fließen. Im PLM-Kontext ermöglicht dies beispielsweise den Zugriff auf aktuelle Produktdaten aus dem ERP-System oder die nahtlose Übergabe von beispielsweise EBOM (Engineering Bill of Materials) und MBOM (Manufacturing Bill of Materials) aus dem PLM- in das ERP-System.

Dank der Catena-X-Lösungen können Unternehmen Daten sicher mit anderen Unternehmen entlang der Lieferkette austauschen, was ihre gesamte Wertschöpfung effizienter und transparenter macht. Darüber hinaus verbessern standardisierte Schnittstellen und Datenformate die unternehmensübergreifende Interoperabilität. Catena-X gibt damit den Auftakt für eine neue Qualität der Kooperation in der Automobilindustrie – denn Harmonie ist eben nicht nur im Orchester entscheidend. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Dr.-Ing. Kai Lindow** | +49 30 39006-214  
kai.lindow@ipk.fraunhofer.de

Weitere Informationen:  
[www.ipk.fraunhofer.de/was-ist-plm](http://www.ipk.fraunhofer.de/was-ist-plm)



### DIE KOMPLIKATION BEI DER INTEGRATION

Für eine gut orchestrierte Systemlandschaft ist es entscheidend, den Datenfluss zwischen den verschiedenen Systemen eines Unternehmens zu optimieren. Dazu

Catena-X wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

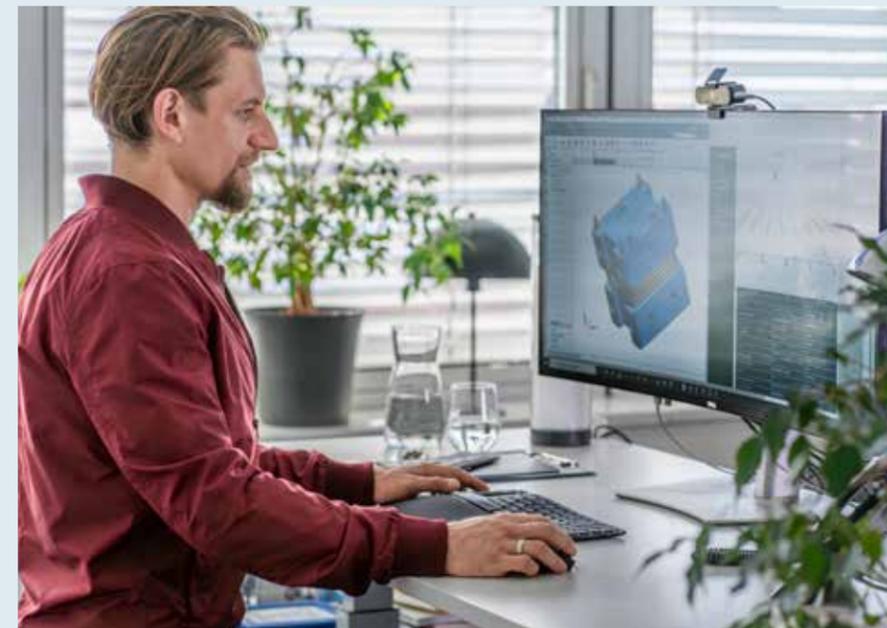
# Schema F – das F steht für Flexibel

**Steigende Variantenvielfalt und Bauteilkomplexität, immer individuellere Produkte und dadurch sinkende Losgrößen beschäftigen die Industrie. Um mitzuhalten, müssen Unternehmen ihre Fertigung flexibel anpassen können. Grundlage für eine solche Flexibilisierung ist, dass alle Einzelsysteme im Produktionsprozess miteinander sprechen – und das gelingt nur, wenn sie digital vernetzt sind. In einem gemeinsamen Projekt erforschen die Berliner Fraunhofer-Institute, wie verschiedene Technologien entlang einer Fertigungslinie für Brennstoffzellen optimal ineinandergreifen können.**

**FORSCHUNG STARK INTEGRIERT –  
DAS LEISTUNGSZENTRUM DIGITALE VERNETZUNG**  
Das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« entwickelt Technologien und Lösungen, die der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung aller Lebensbereiche Rechnung tragen. Im Leistungszentrum forschen die vier Fraunhofer-Institute FOKUS, HHI, IPK und IZM an Basis- und Querschnittstechnologien für die Anwendungsbereiche »Vernetzte Industrie & Produktion«, »Vernetzte Mobilität & Zukunftsstadt«, »Vernetzte Gesundheit & Medizin« und »Vernetzte kritische Infrastrukturen & Energie«. Für Industriepartner und öffentliche Einrichtungen besteht die Möglichkeit, im Rahmen von Forschungsprojekten mit den beteiligten Fraunhofer-Instituten zu kooperieren. Das Leistungszentrum Digitale Vernetzung wird vom Regierenden Bürgermeister von Berlin, Senatskanzlei – Wissenschaft und Forschung gefördert.

**DIGITALE VERNETZUNG ÜBER SYSTEMGRENZEN HINWEG**  
Die Forschungsergebnisse und Demonstratoren des Leistungszentrums zeigen, wie flexible Fertigungssysteme aus Werkzeugmaschinen, Robotern und Menschen durchgängig digital vernetzt werden können: von AMRs und automatisierten Prozessabläufen bis hin zu Mensch-Roboter-Kollaboration und Werkerassistenzsystemen. So können Fertigungsaufträge flexibel geplant und verfolgt, Prozesse standortübergreifend optimiert und die Stärken von Mensch und Maschine kombiniert werden. Dank der kontinuierlichen Überwachung und Optimierung aller Prozessschritte wird die Produktion nachhaltiger – was die Industriepartner genauso zufrieden stellt wie das Endergebnis: individuelle Produkte, effizient und qualitativ hochwertig hergestellt.

Weitere Informationen  
[www.digitale-vernetzung.org](http://www.digitale-vernetzung.org)



# 1

## Individuelle Brennstoffzellen leicht gemacht

Ein zentraler Konfigurator erlaubt es dem Ingenieur, Brennstoffzellen individuell nach den Leistungsanforderungen der Kunden zu konstruieren und ein passendes CAD-Modell zu generieren. Dabei wird automatisch ein Life Cycle Assessment (LCA) durchgeführt, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Produkts zu bestimmen. Der daraus erzeugte Auftrag landet in einem Auftragsdashboard, auf dem der gesamte Prozess verfolgt werden kann.



# 2

## Autonome Logistik: Effizienz auf Rädern

Ist der Auftrag erstellt, startet die Fertigung: Ein AMR (Autonomous Mobile Robot) wird aktiviert, fährt selbstständig zu einem Lager, identifiziert die benötigten Halbzeuge und entnimmt sie automatisch. Welche das sind, kann das AMR aus dem Auftragsdashboard ablesen – in diesem Fall eine Halterung mit mehreren Rohlingen für Bipolarplatten – und dann wie hier mit seiner Kamera den entsprechend markierten Platz im Lager suchen.



### 3

#### Integrierte Sensorik hilft bei der Überwachung

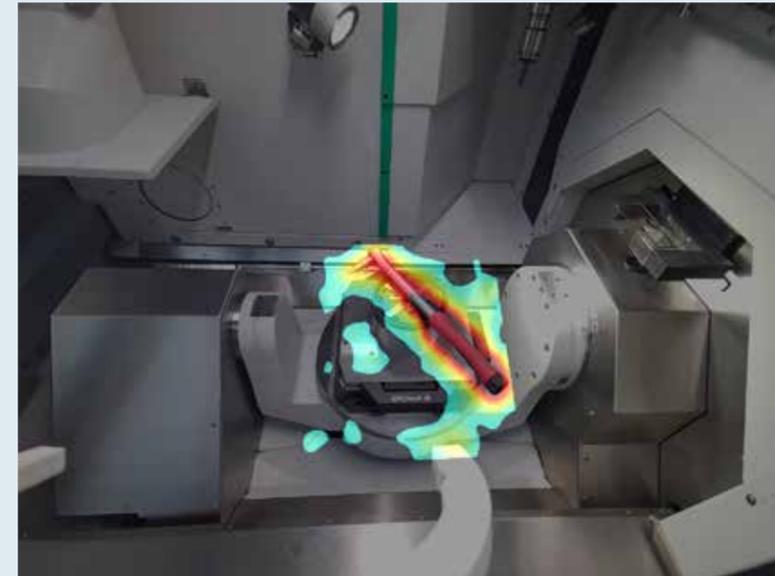
Das vom AMR transportierte Spannmittel enthält Beschleunigungssensoren, die während des Transports Schäden durch Stöße erkennen und während des anschließenden Fräsprozesses eine In-situ-Prozessüberwachung und Qualitätssicherung ermöglichen. Dadurch ist gewährleistet, dass über den gesamten Prozess hinweg relevante Prozessdaten erfasst werden.



### 4

#### Mit robuster Kommunikation zum nächsten Prozessschritt

Das Fahrzeug kommuniziert drahtlos über WiFi und den Mobilfunkstandard 5G. Dank Visible-Light-Technologie kann es zusätzlich auch Daten im sichtbaren Lichtspektrum übermitteln. Entsprechende Sender und Empfänger am AMR und den Fertigungsanlagen schaffen so eine Redundanz für die Datenübertragung.



### 5

#### Fräsmaschine: Präzision ohne Menschenhand

Beim Heranfahren an die bereitstehende Fräsmaschine erkennt das AMR Hindernisse und abnormale Zustände, sodass Anomalien, wie ein in der Maschine vergessener Schraubenschlüssel, erkannt und gemeldet und Fehler bzw. daraus resultierende Anlagenausfälle proaktiv verhindert werden können. Das AMR legt die Halterung mit den Halbzügen selbstständig in die Fräsmaschine ein. Aus dem Auftrag wird anschließend automatisch das korrekte Programm zur Fräsbearbeitung der Bipolarplatten geladen und der Status des Prozesses kontinuierlich zurück an das Dashboard gemeldet. Nach Abschluss des Fräsprozesses entnimmt das AMR die Spannvorrichtung und transportiert sie zu einem Mensch-Roboter-Kollaborations-Montagetisch.

## 6

### Bestens abgestimmte Qualitätssicherung und Montagevorbereitung

Am Kollaborationstisch findet zunächst eine automatisierte Qualitätsprüfung statt. Der Roboter übernimmt das Einlegen der bearbeiteten Bipolarplatten und überprüft diese mittels maschinellen Sehens auf Beschädigungen und Herstellungsfehler. Erkannte Fehler, in diesem Fall ein Kratzer, werden durch gut sichtbare Projektionen markiert, sodass der Mensch sie beurteilen und wenn notwendig die Platten austauschen kann. Sind die Platten in Ordnung, legt der Roboter sie in eine Montagevorrichtung.



## 7

### Smarte Kooperation: Mensch und Maschine im Team

Das System leitet aus der Produktkonfiguration passende Montageanweisungen ab. Mittels Projektion werden diese auf dem Arbeitstisch dargestellt, so dass der Monteur zielgerichtet arbeiten kann. Der Mensch kann sich mittels Fingerzeig und Handgesten durch die Montagehinweise arbeiten und übernimmt hier die filigrane Montage der Membranen. So arbeiten Mensch und Roboter Hand in Hand, wobei der Mensch kontextbezogen mit allen benötigten Informationen unterstützt wird.

IHRE ANSPRECHPERSONEN

**Tobias Neuwald** | +49 30 39006-308

tobias.neuwald@ipk.fraunhofer.de

**Claudio Geisert** | +49 30 39006-133

claudio.geisert@ipk.fraunhofer.de

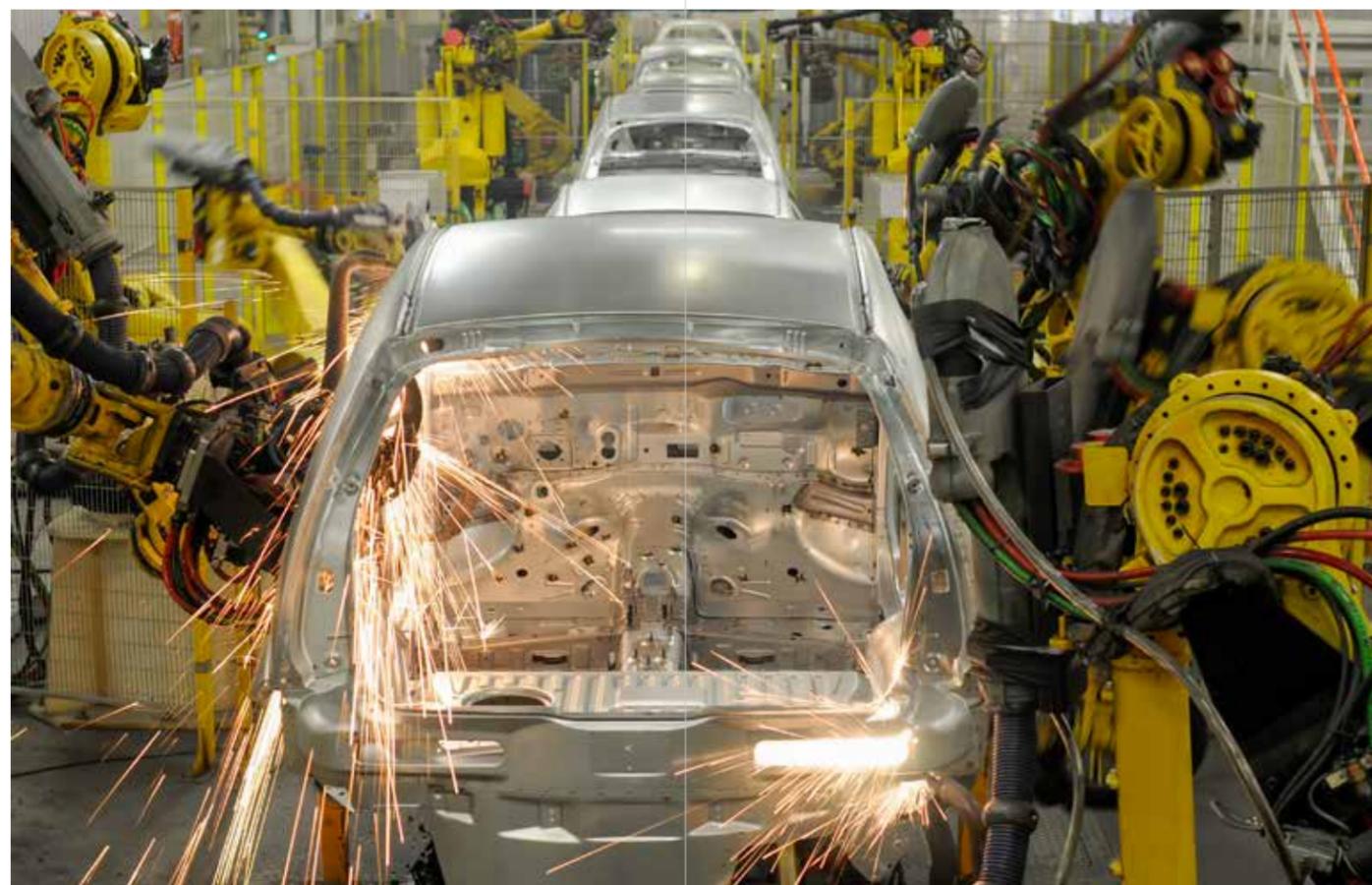
# Konsistente Daten – bessere Prozesse

**In heutigen Produktionssystemen sind selbst kleine Änderungen oft zeitaufwendig, kostenintensiv und fehleranfällig. Nicht so, wenn Entwicklung, Planung, Inbetriebnahme und Produktion integriert und gemeinsam verstanden werden.**

Wie eine durchgängige digitale Prozesskette in der Produktion gelingen kann, erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IPK im Projekt »Vom konventionellen Produktionswerk zum resilienten Kompetenz-Werk durch Industrie 4.0 (Werk 4.0)«. Gemeinsam mit zwölf Partnern, darunter TU Berlin, Mercedes Benz AG und Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. (WvSC), entwickeln sie flexible Fertigungslösungen, mit denen Hersteller schneller auf Technologieveränderungen und neue Marktanforderungen reagieren können. Die Grundidee dabei: Die Phasen der Produktentstehung mit ihren spezifischen Prozessen, Werkzeugen und Sprachen werden nicht mehr als lose gekoppelte Schritte behandelt. Stattdessen werden sie entlang einer digitalen Prozesskette integriert, in der alle notwendigen Daten direkt weitergegeben werden. Dadurch sollen produzierende Unternehmen zukünftig Prozesse flexibler anpassen, Produkte rascher entwickeln und ihre Produktion insgesamt resilienter gestalten können.

Der Schlüssel für eine erfolgreiche Umsetzung liegt in der digitalen Datendurchgängigkeit der Informationen über alle beteiligten Prozesse und IT-Systeme hinweg: Informationen sollen über die gesamte Nutzungsdauer in der Form vorliegen, in der sie benötigt werden. In

bestehenden Produktionssystemen wird dies durch eine Vielzahl von Faktoren erschwert. Informationen aus Produktentwicklung, Produktionsplanung, Produktionssteuerung und Herstellung werden in unterschiedlichen, für den jeweiligen Zweck entwickelten IT-Systemen gespeichert und verarbeitet. Dadurch liegen voneinander abhängige und in manchen Fällen sogar dieselben Informationen in unterschiedlichen Datenformaten vor. Sollen kleine Anpassungen vorgenommen werden, zum Beispiel ein Bauteil geringfügig modifiziert werden, entstehen ein hoher Kommunikationsaufwand und manuelle Datenpflege, ehe die Informationen in Fertigungsparameter überführt und die Anpassungen in der finalen Herstellung berücksichtigt werden können. Ein höherer Zeitaufwand, zusätzliche Kosten und Fehler können die Folge sein.



**Bild:** Elektrifizierung und Digitalisierung verändern die Automobilindustrie grundlegend. Ziel des Projekts Werk 4.0 ist es, die Fähigkeiten der herstellenden Unternehmen in Deutschland zu stärken, um die Chancen und Herausforderungen der Zukunft zu meistern.

Dieses Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) in der Förderrichtlinie »Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie« im Förderrahmen »Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie« gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH betreut.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Um dem entgegenzuwirken, wird im Rahmen des Projekts »Werk 4.0« eine digitale Prozesskette entwickelt, die alle beteiligten Domänen integriert. Exemplarisch wenden die Forschenden ihre Erkenntnisse auf den Fertigungsprozess in einem Partnerunternehmen an – als spätere Referenz für weitere industrielle Anwendungen. Dabei analysieren sie Aktivitäten, Daten und verwendete IT-Systeme, identifizieren nötige Funktionalitäten und setzen diese in technologische Komponenten um. Dafür verwenden sie offene Standards zum Beschreiben, Speichern und Transferieren der Daten, sodass ein hohes Maß an Generalisierung und Übertragbarkeit möglich bleibt.

Im ersten Schritt wird das jeweilige Produkt modellbasiert in einem standardisierten Austauschformat be-

schrieben. Aus dieser Produktbeschreibung werden anschließend automatisiert Produktionsparameter wie Roboterkoordinaten oder geometrische Maße abgeleitet und in einem einheitlichen Datenset zusammengeführt. Diese Datensets werden in einem zentralen Datenmanagement basierend auf Standards der IDTA (Industrial Digital Twin Association) und OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) verwaltet. Verschiedenste Fertigungsprozesse wie CNC-Fräsen, Schrauben, Kleben oder roboterbasiertes Bolzenschweißen werden mit ihren Anlagen direkt angebunden, sodass die gespeicherten Parameter in den laufenden Produktionsprozess und das zugehörige Steuerungsprogramm übernommen werden können. Diese nahtlose Verbindung – von der Produktentwicklung bis in den finalen Produktionsprozess – erlaubt es, vielfältige Prozessanpassungen automatisiert durchzuführen: Prozessänderungen können schneller freigegeben und die notwendigen Parameter über alle Freigabe- und Qualitätssicherungsschritte hinweg direkt in die Maschinenprogramme eingebracht werden.

Eine derart durchgängig digitale Prozesskette trägt auch zur Resilienz von Produktionssystemen bei: also der Fähigkeit, auf externe Impulse reagieren und sich auf neue Bedingungen einstellen zu können, um einen stabilen Zustand aufrechtzuerhalten. Sie hilft, kommunikationsbedingte Missverständnisse präventiv zu minimieren, weil Informationen prozessweit eindeutig vorliegen und zugänglich sind. Außerdem wird die Reaktionsfähigkeit der Systeme erhöht, weil automatisierte Datenverarbeitung und digitale Durchgängigkeit das Einsteuern von Prozessanpassungen deutlich beschleunigen. Da diese datenbasierten Anpassungen und ihre Verläufe zentral für alle Beteiligten einsehbar sind, ermöglichen sie nicht zuletzt kontinuierliche Prozessverbesserungen und Lerneffekte. Wie das alles funktioniert, können Interessierte voraussichtlich ab Mitte 2025 in einem Reallabor erleben. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Jan Kuschan** | +49 30 39006-205  
jan.kuschan@ipk.fraunhofer.de

# Identitätsstiftende Arbeit

**Personalausweis, Reisepass oder Führerschein – mindestens eines dieser Dokumente tragen Erwachsene in Deutschland täglich bei sich. Wie sie hergestellt werden, erklärt Dr. Florian Heitmüller von der Bundesdruckerei GmbH in seinem FUTUR-Gastbeitrag.**

Als Technologieunternehmen des Bundes produziert die Bundesdruckerei in Berlin im Auftrag des Bundesministeriums des Innern und für Heimat alle deutschen Pass- und Ausweisdokumente. Dazu gehört der komplette Prozess von der Erfassung und Aufbereitung personenspezifischer Daten über die Herstellung und Personalisierung der Identitätsdokumente bis zu deren Überprüfbarkeit und Schutz. Sicherheit, Authentizität und Vertrauenswürdigkeit stehen dabei für uns an erster Stelle – um sie zu gewährleisten, müssen unterschiedliche Systeme verlässlich ineinandergreifen. Mehr noch: Eine Systemintegration, die einzelne Technologien, Prozesse und Lösungen zusammenführt, ist bei uns per se zwingend notwendig.

Je nach Art des Dokuments werden in Bürgerämtern zunächst die biografischen und biometrischen Daten der Antragsteller und Antragstellerinnen, etwa Name, Geburtsdatum, Unterschrift oder Fingerabdruck, nach standardisierten Verfahren digital erfasst. Anschließend werden diese Daten digital verschlüsselt und signiert an uns weitergeleitet und verarbeitet. Über eine Public-Key-Infrastruktur (PKI) stellen wir sicher, dass ausschließlich Personen und Geräte, die in das System integriert sind, Zugriff darauf haben und die Daten verarbeiten können. So gewährleisten wir, dass in den nächsten Prozessschritten nur authentische Daten verwendet werden.

Für die Herstellung der Dokumente setzen wir hochmoderne Anlagen mit neuesten Technologien ein, um höchste Standards in Punkto Design und Fälschungssicherheit zu erfüllen. Viele der eingesetzten Technologien und Fertigungsprozesse, beispielsweise im Bereich Laserpersonalisierung oder Holographie, entwickeln wir vollständig inhouse mit unseren Experten und Expertinnen. Um sicherzustellen, dass der Herstellprozess der hoheitlichen Dokumente nicht einfach kopiert werden kann, kommen dafür zum Teil ebenfalls selbst entwickelte Sondermaschinen zum Einsatz. Wir haben zudem klassische

**Sicherheit, Authentizität und Vertrauenswürdigkeit stehen für uns an erster Stelle – um sie zu gewährleisten, müssen unterschiedliche Systeme verlässlich ineinandergreifen.**

Rolle-zu-Rolle-Druckprozesse, bei denen allerdings ebenfalls durch Spezialmaschinen Sicherheitspapiere und -farben verarbeitet werden. Beim Herstellungsprozess unserer Polycarbonat-Karten für Personalausweis, Führerschein und Reisepass bedrucken wir bei einem Fertigungsschritt eine spezielle Polycarbonat-Folie mittels selbst entwickelter und patentierter Inkjet-Technologie. Durch die aufgedruckten persönlichen Daten des Antragstellers wird jedes ID-Dokument dann zu einem Unikat. In nachfolgenden Prozessschritten erfährt das bereits individualisierte Dokument mit Losgröße 1 ergän-

zende ebenfalls patentierte Personalisierungen auf weiteren Spezialsondermaschinen. Für diese Personalisierung der Dokumente – optisch wie elektronisch – betreiben wir eines der weltweit größten Spezialzentren: Hier werden Sicherheitsmerkmale wie das Porträtbild, der Fingerabdruck, ein Chip und ein Hologramm mithilfe von Holographie-Druckverfahren und Lasertechnologien aufgebracht. Mit Codierungen und Barcodes werden die Dokumente auch maschinenlesbar und können mit sogenannten Track-and-Trace-Systemen jederzeit, also an jedem Fertigungsschritt, nachverfolgt oder auf ihre Echtheit geprüft werden.

Wir realisieren damit eine Manufakturfertigung mit Losgröße 1, jedoch in sehr großen Stückzahlen und bei sehr niedrigen Taktzeiten, damit wir die Bedarfe von rund 80 Millionen Bürgerinnen und Bürgern bedienen können. Für die Herstellung der personalisierten hoheitlichen Dokumente benötigen wir von dem Moment an, an dem uns die Daten bereitgestellt werden, bis zum fertigen Dokument im Normalfall nur wenige Tage.

Um den Gesamtprozess für die Bürger und Bürgerinnen so einfach und schnell wie möglich zu halten, arbeiten wir verstärkt an sogenannten Live-Enrolment-Systemen und Prozessen wie dem Direktversand. Ein Beispiel sind Selbstbedienungsterminals für Bürgerämter, mit denen Personen selbst Ausweisdokumente und Führerscheine beantragen können. Biometrisches Foto, Fingerabdrücke und Unterschrift werden direkt am Gerät aufgenommen und medienbruchfrei und qualitätsgesichert in das Behördennetzwerk übertragen. Zusätzlich sollen auch weitere Bürgerdienste an solchen Selbstbedienungsterminals genutzt werden können. Auf diese Weise würden Verwaltungskräfte von Routinetätigkeiten im Antragsprozess entlastet und die Wartezeit für die Antragstellenden verkürzt. Barrierefreie Desktoplösungen, unter anderem für Personen mit Beeinträchtigungen, sind ebenfalls in Arbeit.



**Dr.-Ing. Florian Heitmüller**

ist Senior Projekt Manager und Funktionsbereichsleiter »Production Integration« bei der Bundesdruckerei GmbH. Mit seinem Team betreut er die Maschinen und Anlagen zur Herstellung von hoheitlichen Dokumenten. Damit ist der Ingenieur seinem Spezialgebiet treu geblieben. Am IWF der TU Berlin hat er im Maschinenbau im Bereich Fertigungsverfahren zur Feinbearbeitung promoviert. »Wir brauchen gute Produktionskapazitäten und Maschinenbauer in Deutschland, gerade für sicherheitsspezifische Themen wie unsere. Dieses Know-how sollten wir in der eigenen Hand behalten.«



# Dezentralisiert und doch integriert

Produkte und Dienstleistungen: eine komplizierte Liebesgeschichte. Braucht ihre Beziehung dezentralisierte Datenräume zum Wachsen?

## GLOSSAR

### PSS – Produkt-Service-Systeme

PSS sind Angebote, die sich aus integrierten Produkten und Dienstleistungen zusammensetzen. Sie bieten Kunden einen Mehrwert in Form von Wertschöpfungskomponenten von Geschäftsmodellen, die sich an den Bedürfnissen der Stakeholder orientieren (d. h. Prozesse, Ressourcen, Menschen und Partner in der Wertschöpfungskette).

### PaaS und XaaS – Product-as-a-Service und Anything-as-a-Service

PaaS und XaaS sind eine Art von PSS. Es handelt sich um Angebote, die sich aus Produkten und Dienstleistungen zusammensetzen und im Rahmen eines Geschäftsmodells bereitgestellt werden. Dabei steht das physische Produkt im Mittelpunkt, das Eigentum verbleibt jedoch bei den Anbietern. Die Wertschöpfung erfolgt über ein Dienstleistungsformat wie beispielsweise Pay-per-Use oder Asset-Sharing.

### IPSS<sup>2</sup> – Industrielle Produkt-Service-Systeme

Produkt-Service-Systeme, die in industriellen Anwendungen als B2B-Geschäftsmodelle (Business-to-Business) Nutzen generieren.

### Datenräume

Eine Art Infrastruktur für die gemeinsame Nutzung von Daten durch vertrauenswürdige Partner, die sich an dieselben Standards und Richtlinien in Bezug auf die Speicherung und gemeinsame Nutzung von Daten halten.

### Datenökosysteme

Datenökosysteme sind Netzwerke, die sich aus mehreren Mitgliedern zusammensetzen, in multilateralen Strukturen organisiert sind und auf den Austausch von Daten und Dienstleistungen abzielen.

### Gaia-X

Gaia-X ist eine europäische Initiative zur Schaffung einer interoperablen Dateninfrastruktur, die eine dezentrale, sichere, transparente und vertrauenswürdige Bereitstellung und gemeinsame Nutzung von Daten ermöglicht.

Wenn jemand über Uber, Bolt oder FREE NOW ein Taxi anfordert, wohin fließen dann die Daten? Wie gelangen Informationen darüber, wer der Fahrgast ist, wo er sich befindet und wohin er fahren möchte, zu den Servern des Dienstleisters und dann zu einem verfügbaren Fahrer oder einer Fahrerin – und das alles souverän, zuverlässig und sicher? Und welches Produkt wird hier eigentlich verkauft? Produkte und Dienstleistungen sind zunehmend miteinander verwoben, die traditionellen Grenzen zwischen ihnen verschwimmen: ein enormer Mehrwert für Kunden und Unternehmen gleichermaßen. Was auf den ersten Blick wie eine gelungene Liebesgeschichte klingt, ist oft deutlich komplizierter – und erfordert intensive Integrationsarbeit. Komplexe Produkt-Service-Systeme (PSS) erfordern eine ebenso komplexe Dateninfrastruktur. Diese muss gut integriert sein, insbesondere in Fällen, in denen die Daten nicht zentral auf einer einzigen Plattform gesammelt werden. Im Rahmen der Initiative Gaia-X werden am Fraunhofer IPK dafür zukunftsweisende Lösungen erforscht.

Ob IPSS<sup>2</sup>, PaaS oder XaaS: PSS sind integrierte Lösungen, die sich aus Produkten, Dienstleistungen und unterstützender Infrastruktur zusammensetzen und darauf ausgelegt sind, vor allem durch die bereitgestellte Dienstleistung einen Mehrwert zu bieten. PSS sind schon seit geraumer Zeit in den unterschiedlichsten Bereichen unseres täglichen Lebens angekommen, etwa in der Mobilität, beim Wohnen, im Gesundheitswesen oder auch in der Industrie. Wann immer wir einen Carsharing-Service, einen Waschsalon oder eine Streaming-Plattform nutzen, haben wir es mit einem PSS zu tun.

PSS-Lösungen entwickeln sich dabei stetig weiter. Fortschritte im Bereich Sensorik, Internet-of-Things (IoT), 5G, dem »Omniversum« und anderen Technologien ermöglichen die Entwicklung intelligenterer und effizienterer Produkt-Service-Systeme. Digitale Echtzeit-Zwillinge von Maschinen erleichtern beispielsweise die Bereitstellung von Maschinen als Dienstleistung (Machines-as-a-Service) mit verringertem Anbieterrisiko und gewährleisten eine rechtzeitige Instandhaltung und operatives Feedback. Gleichzeitig erzeugen und erfordern immer komplexere Produkt-Service-Systeme auch immer mehr Daten, die ausgetauscht, verarbeitet, umgewandelt und interpretiert werden müssen. ►

Die Projekte Gaia-X 4 PLC-AAD, Gaia-X 4 AMS, Gaia-X 4 ROMS und Aerospace-X werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (FKZ: 19S21006F, FKZ: 19S21004I, FKZ: 19S21005G und FKZ: 13MX0047).



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Mithilfe des am Fraunhofer IPK entwickelten Drone Selection Service können Feuerwehrleute die für ihren Einsatz passenden Drohnen auswählen und anfordern. Dabei können sie Missionsanforderungen wie Standort oder Kameraspezifikationen eingeben und Parameter wie Kosten, Ankunftszeit oder Missionsdauer optimieren.



© Elektra Solar



Die Software erlaubt auch die anschließende Kommunikation direkt zwischen dem Drohnenanbieter und den Feuerwehrleuten. Sie erhalten ein Token, mit dem sie auf die Echtzeit-Videobilder der Drohne zugreifen und die Kamera nach Bedarf einstellen können, um beispielsweise Wärmebilder anzuzeigen oder gefährdete Personen aus der Luft zu erkennen.



Eine abrufbare Drohnenflotte könnte Einsätze für die Feuerwehr in Zukunft sicherer machen und eine bessere Einsatzplanung ermöglichen, indem sie helfen, Bedrohungen bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr am Einsatzort zu erkennen und Gefahren sowie Risiken einzuschätzen.

## DATENRÄUME ALS PSS-INFRASTRUKTUR

Während die in PSS integrierten Technologien immer intelligenter und fortschrittlicher werden, wirft der Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren Fragen der Datensicherheit, -souveränität und -konnektivität auf. Viele aktuelle Dienste stützen sich auf zentrale Plattformen zur Verwaltung von Daten und Diensten. Unternehmen zögern jedoch oft, ihre Daten einer solchen Plattform anzuvertrauen. Forschende des Fraunhofer IPK arbeiten daher an einer vielversprechenden Lösung, die die Welt der PSS grundlegend verändern könnte: dezentrale Datenräume.

Datenräume ermöglichen den Austausch von Daten zwischen sich vertrauenden Partnern, die an strenge Standards für die Speicherung und den Austausch von Daten innerhalb eines oder mehrerer Ökosysteme gebunden sind. Ein entscheidendes Merkmal dezentraler Datenräume besteht darin, dass die Informationen an ihrer Quelle verbleiben und nur bei Bedarf mithilfe semantischer Interoperabilität übertragen werden. Jeder einzelne Raum liefert domänenspezifische Daten, zusammen bilden sie dann eine solide Grundlage für ein oder mehrere Ökosysteme. Datenräume ermöglichen es den Beteiligten auch, den digitalen Raum für Dienste und Informationsaustausch zu definieren und zu strukturieren, ohne sich um die Datenhoheit und -sicherheit sorgen zu müssen. Über Schnittstellen können die Beteiligten auf Dienstleistungen oder Datensätze zugreifen, halten gleichzeitig alle Richtlinien ein und gewährleisten vertrauliche Interaktionen.

## FEUER LÖSCHEN MIT DATENRÄUMEN

Dieses Konzept ermöglicht es, völlig neue Lösungen als Dienstleistungen anzubieten. Man stelle sich beispielsweise einen Drohnen-Rufdienst vor, der Feuerwehrleute bei Autounfällen und anderen Einsatzszenarien unterstützt. Dieser Anwendungsfall wurde im Projekt Gaia-X 4 AMS erforscht, bei dem über 20 Unternehmen und Forschungsinstitute zusammenarbeiteten, um einen Datenraum für fortschrittliche Mobilitätssysteme zu schaffen.

Im Projekt entwickeln Drohnenhersteller eine Flotte von Drohnen, die zur Unterstützung der Feuerwehr angefordert werden können – und am Einsatzort Luftaufnahmen machen, Lagebilder erfassen und diese Informationen über einen Datenraum mit den Feuerwehrleuten teilen. Um die Drohnen des Projektpartners Elektra Solar und anderer Hersteller zu verwalten und die für den jeweiligen Einsatz am besten geeignete Drohne auszuwählen, wurde vom Fraunhofer IPK der »Drone Selection Service« entwickelt. Der Dienst bietet Schnittstellen sowohl für die Feuerwehr als auch für das Drohnenflottenmanagement. Die Feuerwehrleute können Anforderungen für den Einsatz definieren – etwa den Standort, die Kameraspezifikationen und Optimierungsparameter wie Kosten, Ankunftszeit oder Einsatzdauer.

Das System fragt nun bei den Anbietern Drohnen an, die die Einsatzkriterien erfüllen. Der Drone Selection Service bestätigt die Verfügbarkeit einer passenden Drohne und informiert die Feuer-

wehrleute, sobald die Anfrage bestätigt und die Drohne auf dem Weg zum Einsatzort ist. Die anschließende Kommunikation erfolgt direkt zwischen dem Drohnenanbieter und den Feuerwehrleuten. Sie erhalten ein Token, mit dem sie auf die Echtzeit-Videobilder der Drohne zugreifen und die Kamera nach Bedarf einstellen können, um beispielsweise Wärmebilder anzuzeigen oder gefährdete Personen aus der Luft zu erkennen. Preis- und Positionsdaten der Drohne werden nur zwischen den beteiligten Parteien ausgetauscht, sodass keine zentrale Plattform zur Speicherung von Einsatzdaten erforderlich ist.

## EIN INNOVATIONSTREIBER FÜR DIE INDUSTRIE

Dezentrale Datenräume – ob für die Bestellung einer Drohne, eines Taxis oder einer anderen Art von Dienstleistung – ermöglichen somit neue Geschäftsmodelle, deren Einführung aktuell durch fehlendes Vertrauen oder mangelnde Datensicherheit verhindert wird. Doch das Potenzial für neue PSS, die erst mit entsprechenden Datenräumen möglich werden, reicht noch weiter. Zahlreiche Möglichkeiten in verschiedenen Industriezweigen warten darauf, erforscht und umgesetzt zu werden.

Ein Beispiel ist Aerospace-X für die Luft- und Raumfahrtindustrie: Effizienz und Betriebssicherheit sind hier besonders wichtig und können von der Implementierung von Datenräumen erheblich profitieren. So kann beispielsweise der Echtzeit-Datenaustausch zwischen Flugzeugherstellern, Wartungsdienstleistern und Flugge-

sellchaften eine rechtzeitige Wartung gewährleisten, Ausfallzeiten reduzieren und den Flugbetrieb optimieren. Dank dezentraler Datenräume bleiben sensible Informationen sicher, während sie gleichzeitig eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten ermöglichen.

Beim Erschließen neuer Ansätze zur Digitalisierung in Industrie und Forschung ermöglicht die Einführung von Datenräumen also neue Geschäftsmodelle und PSS: Von Gesundheit und Medizin bis hin zu intelligenten Städten kann die Integration von Produkten und Dienstleistungen durch sicheren Datenaustausch Innovationen vorantreiben und für Anbieter und Verbraucher gleichermaßen Mehrwerte schaffen. Die Zukunft der PSS liegt darin, die Macht der Daten nutzbar zu machen – und Datenräume sind der Schlüssel dazu. ♦

## IHRE ANSPRECHPERSONEN

**Dr. Maiara Rosa Cencic** | +49 30 39006-417  
maiara.rosa.cencic@ipk.fraunhofer.de  
**Sonika Gogineni** | +49 30 39006-175  
sonika.gogineni@ipk.fraunhofer.de

# Zukunftsraum für die Mobilitätswende

Das Reallabor ReTraNetz-BB unterstützt die Transformation der Fahrzeug- und Zulieferindustrie in der Region. Hier werden Prozessketten erprobt und Technologien in reale Szenarien überführt.



Anwendung eines Twisting-Verfahrens



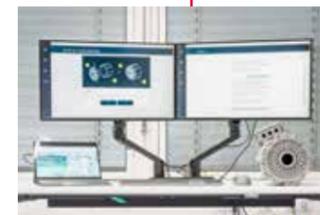
Aufweiten der Hairpins unter Verwendung modernster Technologie



Dashboard zur Darstellung, Überwachung und Dokumentation



3D-Drucker



Montagetisch mit digitaler Assistenz



Fahrerloses Transportsystem (nicht im Bild)



Präzise Nutisolation und Einbringen der Hairpins



Hub-Monitor für Schulungszwecke (nicht im Bild)

Die Mobilitätswende beschert der Fahrzeugbranche einen tiefgreifenden Umbruch: Während bei den Kfz der Verbrenner alternativen Antrieben weicht, entsteht auch eine Vielzahl neuer Klein- und Kleinstfahrzeuge mit Elektromotor – vom Scooter über E-Bikes bis zu E-Rollern. Damit ändern sich auch Produktportfolios und Produktionsprinzipien in den Zulieferbetrieben. Mit dem Reallabor reagiert das Projekt ReTraNetz-BB auf diese Entwicklungen. Das Labor soll die Fahrzeug- und Zulieferindustrie in der

Region Berlin-Brandenburg bei der Transformation zu einer umweltfreundlicheren und effizienteren Fahrzeugproduktion unterstützen. Zudem soll es eine wichtige Basis für künftige Forschungsprojekte sowie die universitäre Lehre und die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften werden.

Das Labor verfolgt mehrere Ziele. Erstens soll die **Entwicklung innovativer Prozessketten** mittels moderner Fertigungs- und Montagetechnologien vorangetrieben werden. Dazu

gehören Verfahren zur Fertigung von Hairpin-Statoren für elektrische Motoren wie präzise Nutisolation, automatisiertes Einbringen der Hairpins, Aufweiten der platzierten Hairpins und ein Twisting-Verfahren zur Finalisierung der Prozesskette. Digitale Produktionsassistenz und Energiemonitoring runden das Angebot des Labors ab. Ein **multilinguales Produktionsassistenzsystem** unterstützt Mitarbeitende bei Wartungsarbeiten, indem es sie unabhängig von Vor- und Sprachkenntnissen nachvollziehbar durch

Prozesse leitet. Das **Energiemonitoring** dokumentiert den Energieverbrauch aller Prozesse im Labor, um Energiesparpotenziale zu identifizieren und Einsparmaßnahmen abzuleiten.

Zweitens bietet das Labor eine **Testumgebung zur Validierung und Optimierung von neu entwickelten Technologien**. Dazu gehört eine modulare Industrial Internet of Things (IIoT) Infrastruktur, die flexible und nahtlose Integration neuer Entwicklun-

gen ermöglicht. Interessierte Unternehmen können das Labor als Testumgebung für eigene Entwicklungen nutzen. Drittens wird ein gezielter Wissenstransfer durch praxisrelevante Schulungsprogramme und die Qualifizierung von Fachkräften angestrebt. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON  
**Nikolaos-Stefanos Koutrakis**  
 +49 30 39006-213  
 nikolaos-stefanos.koutrakis@ipk.fraunhofer.de

Weitere Informationen  
[www.ipk.fraunhofer.de/retranz](http://www.ipk.fraunhofer.de/retranz)



Das Projekt ReTraNetz-BB wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

PTK 2025

XVIII. INTERNATIONALES  
PRODUKTIONSTECHNISCHES  
KOLLOQUIUM

# MARKTFÜHRERSCHAFT DURCH SYSTEMINTEGRATION

SAVE THE DATE 13.–14.11.2025  
BERLIN

In der heutigen globalisierten Wirtschaft hängt unternehmerischer Erfolg zunehmend von vernetzten und integrierten Wertschöpfungsketten ab. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, alle an der Produktentwicklung, -herstellung und -nutzung beteiligten Ökosysteme nahtlos miteinander zu verbinden. Eine effektive Systemintegration wird damit zum Schlüssel für Hersteller, um reale Technologien und Prozesse mit digitalen Daten und Informationen zu verknüpfen und ihre Produktion effizienter, flexibler und nachhaltiger zu gestalten. Unternehmen, die diese Integration beherrschen, sichern sich nicht nur Wettbewerbsvorteile, sondern langfristig auch ihre Innovationsfähigkeit und Marktführerschaft.

Auf unserer Konferenz erhalten Sie exklusive Einblicke in die neuesten Entwicklungen, Strategien und Lösungen, mit denen eine Systemintegration auf verschiedenen Ebenen und über Unternehmensgrenzen hinweg gelingt. Führende Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft stellen Ansätze und konkrete Praxisbeispiele aus den Bereichen IIoT, Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen, Mensch-Maschine-Interaktion sowie Kreislaufwirtschaft vor. Mit unseren technologieorientierten Transferpfaden durch die Versuchsfelder und Labore von Fraunhofer IPK und IWF der TU Berlin bieten wir Ihnen außerdem wieder praxisnahe Einblicke in unsere aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Nutzen Sie die Gelegenheit, sich auf dem PTK 2025 mit Fach- und Führungskräften aus dem In- und Ausland auszutauschen und wertvolle Impulse für Ihr Unternehmen zu sammeln! Wir freuen uns, wenn Sie mit dabei sind und gemeinsam mit uns die Zukunft der Wertschöpfung aktiv gestalten.

Informationen  
zur Konferenz auf  
[www.ptk.berlin](http://www.ptk.berlin)



Eine Veranstaltung von

**Fraunhofer**  
IPK  
INSTITUT  
PRODUKTIONSANLAGEN UND  
KONSTRUKTIONSTECHNIK

In Kooperation mit

**IWF**  
INSTITUT  
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

**IWF**  
e.V.

## MEHR KÖNNEN

In unserem MEHR KÖNNEN-Programm tragen wir technologiebasiertes Know-how direkt in die unternehmerische Praxis. Mit der Teilnahme an einer unserer Weiterbildungsveranstaltungen investieren Sie in Ihre berufliche Entwicklung und fördern gleichzeitig den wirtschaftlichen Erfolg Ihres Unternehmens. Nutzen Sie die Gelegenheit, sich wissenschaftlich fundiert und umsetzungsorientiert fortzubilden. Knüpfen Sie Netzwerke zu anderen Expertinnen und Experten, auch über die eigenen Branchengrenzen hinweg.

Nächste  
Veranstaltungen:



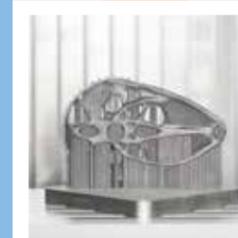
**Tech Day Industrial  
Metaverse**

18.03.2025



**19. Berliner Runde  
Neue Konzepte für  
Werkzeugmaschinen**

22.–23.05.2025



**Praxis der Additiven  
Fertigung**

09.–10.04.2025



Weitere Informationen  
zu unserem Programm  
finden Sie unter  
[www.ipk.fraunhofer.de/  
weiterbildung](http://www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung)



## Neue Herausforderung gesucht?

Stellenangebote für Berufserfahrene, Berufseinsteigende und Studierende in Wissenschaft, Verwaltung, Technik und IT finden Sie hier:



[www.ipk.fraunhofer.de/de/  
jobs-karriere.html](http://www.ipk.fraunhofer.de/de/jobs-karriere.html)

## IMPRESSUM

**FUTUR 2 / 2024**  
**26. Jahrgang**  
**ISSN 1438-1125**

### HERAUSGEBER

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

### MITHERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger  
Dr.-Ing. Kai Lindow  
Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik IPK  
Institut für Werkzeugmaschinen und  
Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin

### KONTAKT

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik IPK  
Claudia Engel  
Pascalstraße 8–9  
10587 Berlin  
Telefon: +49 30 39006-140  
Fax: +49 30 39006-392  
pr@ipk.fraunhofer.de  
www.ipk.fraunhofer.de

### REDAKTION

Claudia Engel (V.i.S.d.P.):  
S. 26–29, 40/41, 48/49  
Ruth Asan (Chefredaktion):  
S. 8/9, 10–13, 18–21, 24/25, 26–29, 30/31  
Benjamin Javitz:  
S. 14–17, 32–37, 38/39, 42–45  
Katharina Strohmeier:  
S. 22/23, 46/47

### GESTALTUNG

Larissa Klassen (Artdirektion)  
Prerana Maheshwari:  
S. 14/15

### FONT-GESTALTUNG FUTUR-LOGO

Elias Hanzer

### FOTOGRAFIEN UND GRAFIKEN

Soweit nicht am Bild anders vermerkt:  
© BMW AG:  
S. 20/21  
© iStockphoto/RicAguiar:  
S. 38/39  
© olehslepchenko/stock.adobe.com:  
S. 44 (oben links)  
© blackboxguild/stock.adobe.com  
S. 44 (rechts), 45 (links)  
© CameraCraft/stock.adobe.com  
S. 45 (oben rechts)  
© Matthias\_Groeneveld/pixabay.com  
S. 45 (unten rechts)  
© Fraunhofer IPK/Larissa Klassen:  
S. 1, 3, 7, 8 (oben), 9–13, 26/27, 33–37,  
46/47, 49 (links, mitte und unten)  
© Fraunhofer IPK:  
S. 6, 22  
© Tierney/stock.adobe.com  
S. 48  
© UltiMaker  
S. 47

### BILDBEARBEITUNG

Larissa Klassen

### HERSTELLUNG

Druckstudio GmbH



**Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen  
und Konstruktionstechnik IPK**

Pascalstraße 8–9 | 10587 Berlin | Telefon: +49 30 39006-140  
pr@ipk.fraunhofer.de | www.ipk.fraunhofer.de



instagram.com/**fraunhofer\_ipk**  
linkedin.com/company/**fraunhofer-ipk**  
youtube.com/**FraunhoferIPK**